

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2001年 7月23日

出願番号

Application Number:

特願2001-220942

[ST.10/C]:

[JP2001-220942]

出願人

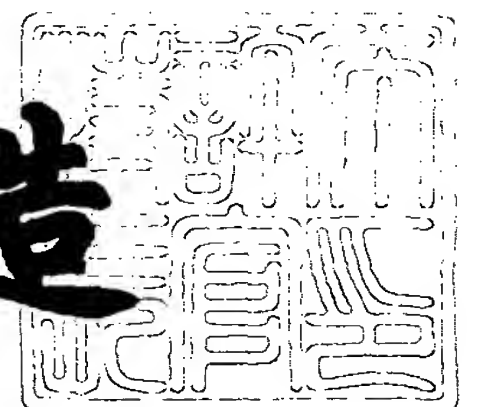
Applicant(s):

旭硝子株式会社

2002年 2月19日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2002-3009077

【書類名】 特許願

【整理番号】 AG2001-013

【提出日】 平成13年 7月23日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 C23C 14/54

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市神奈川区羽沢町 1 1 5 0 番地 旭硝子株式会社内

    【氏名】 志堂寺 栄治

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市神奈川区羽沢町 1 1 5 0 番地 旭硝子株式会社内

    【氏名】 安藤 英一

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市神奈川区羽沢町 1 1 5 0 番地 旭硝子株式会社内

    【氏名】 山田 朋広

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市神奈川区羽沢町 1 1 5 0 番地 旭硝子株式会社内

    【氏名】 真下 尚洋

【特許出願人】

    【識別番号】 000000044

    【氏名又は名称】 旭硝子株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100083116

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 松浦 憲三

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2001- 31004

【出願日】 平成13年 2月 7日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012678

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9005840

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 スパッタ装置及びスパッタ成膜方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 チャンバー内に、横断面が多角形状または円形状のドラムが回転自在に設置され、該ドラムの外周面上に基板ホルダーが設けられ、

チャンバー壁の内側にはマグネトロンスパッタ源が配置され、

マグネトロンスパッタ源はターゲットと該ターゲットを保持するマグネトロンの部からなり、

該ターゲットは前記ドラムの回転軸と平行となるように前記マグネトロンの部により保持された構造を有するカーセル型スパッタ装置であって、該スパッタ装置は、

前記基板ホルダーに取り付けられる基板上に形成される膜の膜厚を成膜中に測定する膜厚測定手段と、

前記ターゲットに対して、スパッタに必要な電力を供給する電源部と、

前記膜厚測定手段で得られる測定結果を利用して成膜量に影響するパラメータを制御する制御手段と、

を備えたことを特徴とするスパッタ装置。

【請求項 2】 請求項 1 に記載のスパッタ装置において、該スパッタ装置は、隣接して配置された二つのターゲットのアノード／カソードの関係を所定周波数で交互に切り替える AC 型マグネトロンスパッタ源と、

単一のマグネトロンの部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源と、を備えたことを特徴とするスパッタ装置。

【請求項 3】 請求項 2 に記載のスパッタ装置において、

前記制御手段は、成膜開始から前記 AC 型マグネトロンスパッタ源を利用した高速成膜を実行して目標膜厚の手前一定量まで成膜した後に、前記 AC 型マグネトロンスパッタ源による成膜を中止し、前記の単一のマグネトロンの部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源のみを利用した低速成膜に切り替えて前記目標膜厚までの成膜を実施するように制御することを特徴とするスパッタ装置。

【請求項 4】 請求項 3 に記載のスパッタ装置において、前記制御手段は、前記低速成膜中に前記膜厚測定手段によって膜厚を監視し、膜厚が前記目標膜厚に到達したことが検出された時点で前記の単一のマグネトロン部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源による成膜を中止する制御を行うことを特徴とするスパッタ装置。

【請求項 5】 請求項 1 乃至 4 の何れか 1 項に記載のスパッタ装置において、該スパッタ装置は、

低屈折率膜の成膜に用いられるターゲットが取り付けられる低屈折率膜形成用のマグネトロンスパッタ源と、

高屈折率膜の成膜に用いられるターゲットが取り付けられる高屈折率膜形成用のマグネトロンスパッタ源と、が併設されていることを特徴とするスパッタ装置。

【請求項 6】 隣接して配置された二つのターゲットのアノード／カソードの関係を所定周波数で交互に切り替える AC 型マグネトロンスパッタ源と、

単一のマグネトロン部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源と、

成膜開始から前記 AC 型マグネトロンスパッタ源を利用した高速成膜を実行して目標膜厚の手前一定量まで成膜した後に、前記 AC 型マグネトロンスパッタ源による成膜を中止し、前記の単一のマグネトロン部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源のみを利用した低速成膜に切り替えて前記目標膜厚までの成膜を実施するように制御する制御手段と、

を備えたことを特徴とするスパッタ装置。

【請求項 7】 チャンバー内に、横断面が多角形状または円形状のドラムが回転自在に設置され、該ドラムの外周面上に基板ホルダーが設けられ、チャンバー壁の内側にはマグネトロンスパッタ源が配置され、マグネトロンスパッタ源はターゲットと該ターゲットを保持するマグネトロン部からなり、前記ターゲットは、前記ドラムの回転軸と平行となるように前記マグネトロン部により保持された構造を有するカルーセル型スパッタ装置を用いて成膜を行うスパッタ成膜方法であって、該方法は、

前記基板ホルダーに取り付けられる基板上に形成される膜の膜厚を成膜中に測定する膜厚測定工程と、

前記膜厚測定工程で得られた測定結果の情報を利用して成膜量に影響するパラメータを制御する制御工程と、

を含むことを特徴とするスパッタ成膜方法。

【請求項 8】 隣接して配置された二つのターゲットのアノード／カソードの関係を所定周波数で交互に切り替える AC 型マグネトロンスパッタ源と、単一のマグネトロン部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源と、を有したスパッタ装置を用いて成膜を行うスパッタ成膜方法であって、該方法は、

成膜開始から前記 AC 型マグネトロンスパッタ源を利用した高速成膜を実行して目標膜厚の手前一定量まで成膜した後に、前記 AC 型マグネトロンスパッタ源による成膜を中止し、前記の単一のマグネトロン部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源のみを利用した低速成膜に切り替えて前記目標膜厚までの成膜を実施することを特徴とするスパッタ成膜方法。

【請求項 9】 請求項 8 に記載のスパッタ成膜方法において、成膜中に膜厚を測定し、前記測定で得た情報を利用して成膜量に影響するパラメータを制御することを特徴とするスパッタ成膜方法。

【請求項 10】 前記ターゲットは、前記基板と対向する位置関係になったときに、前記基板に対面するターゲット面が基板面に対して平行とならないように前記ターゲット面が所定の傾斜角度を有していることを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れか 1 項に記載のスパッタ装置。

【請求項 11】 前記膜厚測定手段は、前記基板に対して測定光を照射する投光手段と、前記基板に照射された前記測定光の透過光または反射光を受光して、その受光量に応じた電気信号を出力する受光手段と、を備えたことを特徴とする請求項 1 乃至 5 及び 10 の何れか 1 項に記載のスパッタ装置。

【請求項 12】 前記受光手段から出力される受光信号に基づいて透過率情報または反射率情報を算出する演算手段、を備えたことを特徴とする請求項 11 に記載のスパッタ装置。

【請求項 13】 前記演算手段は、前記測定光の入射角度が  $0^{\circ}$  及びその近



傍の所定の角度範囲のときに前記受光手段から得られる信号に基づいて、入射角度に応じた透過率情報または反射率情報を求め、入射角度と透過率または反射率の関係を示すデータを取得することを特徴とする請求項 1 2 に記載のスパッタ装置。

【請求項 1 4】 前記膜厚測定手段は、前記基板に対して波長の異なる複数種類の測定光を選択的に照射し得る投光手段と、前記基板に照射された前記測定光の透過光または反射光を受光して、その受光量に応じた電気信号を出力する受光手段と、を備えたことを特徴とする請求項 1 乃至 5 及び 1 0 の何れか 1 項に記載のスパッタ装置。

【請求項 1 5】 前記受光手段から出力される受光信号に基づいて、前記波長の異なる複数種類の測定光に対する透過率情報または反射率情報を算出する演算手段、を備えたことを特徴とする請求項 1 4 に記載のスパッタ装置。

【請求項 1 6】 前記演算手段は、前記波長の異なる複数種類の測定光に対して、それぞれ入射角度が  $0^{\circ}$  及びその近傍の所定の角度範囲のときに前記受光手段から得られる受光信号に基づいて、入射角度に応じた透過率または反射率を求め、入射角度と透過率または反射率の関係を示すデータを取得することを特徴とする請求項 1 5 に記載のスパッタ装置。

【請求項 1 7】 前記演算手段は、前記取得した入射角度と透過率または反射率の関係を示すデータから近似変換を行って分光透過率または分光反射率を算出することを特徴とする請求項 1 3 または 1 6 に記載のスパッタ装置。

【請求項 1 8】 請求項 7 に記載のスパッタ成膜方法において、前記ターゲットが前記基板と対向する位置関係になったときに、前記基板に対面するターゲット面が基板面に対して平行とならないように前記ターゲット面が傾斜面で構成されたターゲットを用いることを特徴とするスパッタ成膜方法。

【請求項 1 9】 前記膜厚測定工程は、前記基板に対して測定光を照射する投光工程と、前記基板に照射された前記測定光の透過光または反射光を受光して、その受光量に応じた電気信号を出力する受光工程と、を含むことを特徴とする請求項 7 または 1 8 に記載のスパッタ成膜方法。

【請求項 2 0】 前記受光工程により出力される受光信号に基づいて透過率

情報または反射率情報を算出する演算工程を含むことを特徴とする請求項 1 9 に記載のスパッタ成膜方法。

【請求項 2 1】 前記演算工程は、前記測定光の入射角度が  $0^{\circ}$  及びその近傍の所定の角度範囲のときに前記受光工程で得られる受光信号に基づいて、入射角度に応じた透過率または反射率を求め、入射角度と透過率または反射率の関係を示すデータを取得することを特徴とする請求項 2 0 に記載のスパッタ成膜方法。

【請求項 2 2】 前記膜厚測定工程は、前記基板に対して波長の異なる複数種類の測定光を選択的に照射する投光工程と、前記基板に照射された前記測定光の透過光または反射光を受光して、その受光量に応じた電気信号を出力する受光工程と、を含むことを特徴とする請求項 7 または 1 8 に記載のスパッタ成膜方法。

【請求項 2 3】 前記受光工程で得られる受光信号に基づいて、前記波長の異なる複数種類の測定光に対する透過率または反射率を算出する演算工程を含むことを特徴とする請求項 2 2 に記載のスパッタ成膜方法。

【請求項 2 4】 前記演算工程は、前記波長の異なる複数種類の測定光に対して、それぞれ入射角度が  $0^{\circ}$  及びその近傍の所定の角度範囲のときに前記受光工程で得られる受光信号に基づいて、入射角度に応じた透過率または反射率を求め、入射角度と透過率または反射率の関係を示すデータを取得することを特徴とする請求項 2 3 に記載のスパッタ成膜方法。

【請求項 2 5】 前記演算工程は、前記取得した複数種類の波長の測定光に対する透過率または反射率と入射角度の関係を示すデータから近似変換を行って分光透過率または分光反射率を算出することを特徴とする請求項 2 1 又は 2 4 に記載のスパッタ成膜方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光学フィルター等の成膜工程に適用されるスパッタ装置及びスパッタ成膜方法に係り、特に、WDM (Wavelength Division Multiplexing: 波長多



重分割) 技術で用いられる WDM 用フィルターの製造に好適なスパッタ装置及びスパッタ成膜方法に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

特開平 3 - 2 5 3 5 6 8 号公報には、ガラス板などの基板に成膜を行うためのカルーセル型スパッタ装置が開示されている。カルーセル型スパッタ装置は、回転・バッチ型のスパッタ装置であり、チャンバー内に多角柱形の基板ホルダー（回転ドラム）が配置されるとともに、チャンバー壁内側に矩形ターゲットを保持するマグネトロンが設置された構造を有している。基板を取り付けた基板ホルダーを回転させながらマグネトロンの電力を投入し、ターゲット上面にプラズマを発生させるとともに、所定の反応ガスをチャンバー内に導入することによって成膜が行われる。

【 0 0 0 3 】

また、特開平 1 1 - 2 4 1 1 6 2 号公報によれば、成膜中の膜厚を光学的測定手段によって連続的にモニタするスパッタリング方法が提案されている。

【 0 0 0 4 】

【発明が解決しようとする課題】

近時、光ファイバー通信の分野で注目されている WDM 技術で用いられる WDM 用フィルターは、低屈折率材料の膜（例えば  $\text{SiO}_2$  膜）と高屈折率材料の膜（例えば  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  膜）を交互に組み合わせ、極めて多くの層（例えば、100 層程度）を積層して形成される。かかる光学多層膜の製造に際しては、各層の膜厚を設計値通り正確に形成することが重要であり、高速かつ高精度に成膜を行うための技術の開発が望まれている。

【 0 0 0 5 】

図 2 7 は、従来の光学多層膜成膜用のスパッタ装置の概略図である。略円筒形のチャンバー 2 0 0 内に多角筒形の基板ホルダー 2 0 2 が配置され、基板ホルダー 2 0 2 の各側面に基板 2 0 4 が取り付けられる。チャンバー壁内側には、低屈折率膜形成用のマグネトロンスパッタ源 2 0 6 と、高屈折率膜形成用のマグネトロンスパッタ源 2 0 8 が設置され、前者には低屈折率膜形成用のターゲット（例

えばS i ターゲット) 210 が取り付けられ、後者には高屈折率膜形成用のターゲット (例えば、T i ターゲット) 212 が取り付けられる。

【0006】

基板ホルダー 202 は、中心軸 214 を回転中心として回転しており、スパッタ電源 216 からマグネトロンスパッタ源 206 に電力を供給することによって、ターゲット 210 上面付近にプラズマが発生し、図示せぬガス導入部から供給されるガスと反応してターゲット 210 前を通過する各基板 204 上に低屈折率膜が形成される。同様に、スパッタ電源 218 からマグネトロンスパッタ源 208 に電力を供給することによって、ターゲット 212 上面にプラズマが発生し、導入されたガスと反応して各基板 204 上に高屈折率膜が形成される。スパッタ電源 216、218 の投入時間と成膜量の関係 (成膜速度) を予め調査しておき、スパッタ時間を管理しながら、各マグネトロンスパッタ源 206、208 に対して交互に電源供給を行うことによって所望の多層膜を形成する。

【0007】

しかしながら、上記従来の成膜装置は、高精度の膜厚管理が困難であり、膜厚精度を高めるためには、成膜速度を遅くして対応しなければならず、生産性が著しく低下するという問題がある。

【0008】

特開昭 49-115085 号公報は、カルーセル型スパッタ装置に関する記載は無いが、成膜工程においてスパッタ装置へのエネルギー供給を断続的に行い、エネルギーの断期間 (供給休止期間) に膜厚を測定して、その結果をエネルギー供給系にフィードバックする方法が提案されている。しかし、この方法は、成膜工程と測定工程が交互に行われ、測定中は成膜が中断されるため、生産性が悪いという欠点がある。

【0009】

また、特開平 3-253568 号公報のように、二つのカソードと該カソードに電力を印加するための二つの電源とを用いたスパッタ装置 (方法) によって膜厚の均一化を図る場合では、二つのカソードが対で成膜に寄与するため、成膜速度に影響する要因 (磁場、印加電圧、ターゲット表面の状態、ガス圧等) につい

て二つのカソード間で差を小さくすることが必要となる。しかし、二つのカソードについて条件を合わせることは困難であり、結果として膜厚の均一化の制御は容易ではない。

#### 【 0 0 1 0 】

本発明はこのような事情に鑑みてなされたもので、膜厚を高精度で制御でき、生産性に優れるスパッタ装置及びスパッタ成膜方法を提供することを目的とする。また、従来に比べてより簡単に膜厚の均一化を達成できるとともに、装置の小型化並びに低コスト化を実現できるスパッタ装置及びスパッタ成膜方法を提供することを目的とする。

#### 【 0 0 1 1 】

##### 【課題を解決するための手段】

前記目的を達成するために請求項 1 に記載の発明は、チャンバー内に、横断面が多角形状または円形状のドラムが回転自在に設置され、該ドラムの外周面上に基板ホルダーが設けられ、チャンバー壁の内側にはマグネトロンスパッタ源が配置され、マグネトロンスパッタ源はターゲットと該ターゲットを保持するマグネトロン部からなり、該ターゲットは前記ドラムの回転軸と平行となるように前記マグネトロン部により保持された構造を有するカルーセル型スパッタ装置であって、該スパッタ装置は、前記基板ホルダーに取り付けられる基板上に形成される膜の膜厚を成膜中に測定する膜厚測定手段と、前記ターゲットに対して、スパッタに必要な電力を供給する電源部と、前記膜厚測定手段で得られる測定結果を利用して成膜量に影響するパラメータを制御する制御手段と、を備えたことを特徴としている。

#### 【 0 0 1 2 】

本発明によれば、カルーセル型スパッタ装置において成膜中に膜厚をモニタリングし、その情報を制御系にフィードバックして、コントロールすることができる。成膜量に影響するパラメータの制御としては、スパッタ電源の電力制御の他、基板ホルダー（ドラム）の回転速度、シャッター開閉度、スパッタ圧力等の制御がある。

#### 【 0 0 1 3 】

本発明の一態様として、請求項 2 記載のスパッタ装置は、隣接して配置された二つのターゲットのアノード／カソードの関係を所定周波数で交互に切り替える AC 型マグネトロンスパッタ源と、単一のマグネトロン部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源と、を備えたことを特徴している。

## 【 0 0 1 4 】

「単一のマグネトロン部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源」としては、DC（直流）型マグネトロンスパッタ源の他に、RF（高周波）型マグネトロンスパッタ源、パルス（直流電圧を一定の時間間隔で印加する）型マグネトロンスパッタ源などがある。

## 【 0 0 1 5 】

AC 型マグネトロンスパッタ源は、単一のマグネトロン部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源よりも高速成膜が可能である。本発明は、これら二種類のスパッタ源を併用して、高速かつ高精度の成膜を実現したものである。

## 【 0 0 1 6 】

この場合、請求項 3 に示したように、成膜開始から前記 AC 型マグネトロンスパッタ源を利用した高速成膜を実行して目標膜厚の手前一定量まで成膜した後に、前記 AC 型マグネトロンスパッタ源による成膜を中止し、前記の単一のマグネトロン部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源のみを利用した低速成膜に切り替えて前記目標膜厚までの成膜を実施するように制御する態様がある。これにより、高精度の膜厚コントロールを行うことができる。

## 【 0 0 1 7 】

更に、請求項 4 に示したように、前記低速成膜中に前記膜厚測定手段によって膜厚を監視し、膜厚が前記目標膜厚に到達したことが検出された時点で前記の単一のマグネトロン部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源による成膜を中止する制御を行う態様が好ましい。なお、通常は、成膜中に膜厚を常時監視する。

## 【 0 0 1 8 】

単一のマグネトロン部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源

のみを使用して低速成膜を行っている期間中、膜厚をモニタリングし、その情報を制御系にフィードバックすることにより、膜厚をより高精度にコントロールできる。

【 0 0 1 9 】

WDM用フィルター等の製造に利用される光学多層膜成膜装置などのように、低屈折率膜と高屈折率膜を交互に成膜するための装置に本発明を適用する場合は、請求項5に示したように、低屈折率膜の成膜に用いられるターゲットが取り付けられる低屈折率膜形成用のマグネトロンスパッタ源と、高屈折率膜の成膜に用いられるターゲットが取り付けられる高屈折率膜形成用のマグネトロンスパッタ源と、が併設された構造を有するスパッタ装置を用いる。

【 0 0 2 0 】

低屈折率膜形成用のマグネトロンスパッタ源と、高屈折率膜形成用のマグネトロンスパッタ源の各スパッタ源について、それぞれAC型マグネトロンスパッタ源と、単一のマグネトロン部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源との組み合わせによって構成することにより、低屈折率膜の成膜工程及び高屈折率膜の成膜工程において、高速成膜と高精度の成膜制御が実現できる。

【 0 0 2 1 】

請求項6に係るスパッタ装置は、隣接して配置された二つのターゲットのアンロード／カソードの関係を所定周波数で交互に切り替えるAC型マグネトロンスパッタ源と、単一のマグネトロン部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源と、成膜開始から前記AC型マグネトロンスパッタ源を利用した高速成膜を実行して目標膜厚の手前一定量まで成膜した後に、前記AC型マグネトロンスパッタ源による成膜を中止し、前記の単一のマグネトロン部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源のみを利用した低速成膜に切り替えて前記目標膜厚までの成膜を実施するように制御する制御手段と、を備えたことを特徴としている。

【 0 0 2 2 】

本発明は、AC型マグネトロンスパッタ源と単一のマグネトロン部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源と、を併用して高速成膜を実現する



とともに、高精度の膜厚コントロールを可能にするものであり、特に、カルーセル型スパッタ装置に適用されることが好ましい。

## 【 0 0 2 3 】

請求項 7 に記載の発明は、請求項 1 に係る装置発明に対応する方法発明を提供する。すなわち、請求項 7 に係る方法は、チャンバー内に、横断面が多角形状または円形状のドラムが回転自在に設置され、該ドラムの外周面上に基板ホルダーが設けられ、チャンバー壁の内側にはマグネトロンスパッタ源が配置され、マグネトロンスパッタ源はターゲットと該ターゲットを保持するマグネトロン部となり、前記ターゲットは、前記ドラムの回転軸と平行となるように前記マグネトロン部により保持された構造を有するカルーセル型スパッタ装置を用いて成膜を行うスパッタ成膜方法であって、該方法は、前記基板ホルダーに取り付けられる基板上に形成される膜の膜厚を成膜中に測定する膜厚測定工程と、前記膜厚測定工程で得られた測定結果の情報を利用して成膜量に影響するパラメータを制御する制御工程と、を含むことを特徴としている。

## 【 0 0 2 4 】

請求項 8 に記載の発明は、請求項 6 に係る装置発明に対応する方法発明を提供する。すなわち、請求項 8 に係る方法は、隣接して配置された二つのターゲットのアノード／カソードの関係を所定周波数で交互に切り替える AC 型マグネトロンスパッタ源と、単一のマグネトロン部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源と、を有したスパッタ装置を用いて成膜を行うスパッタ成膜方法であって、該方法は、成膜開始から前記 AC 型マグネトロンスパッタ源を利用した高速成膜を実行して目標膜厚の手前一定量まで成膜した後に、前記 AC 型マグネトロンスパッタ源による成膜を中止し、前記の単一のマグネトロン部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源のみを利用した低速成膜に切り替えて前記目標膜厚までの成膜を実施することを特徴としている。

## 【 0 0 2 5 】

この場合、請求項 9 に示したように、成膜中に膜厚を測定し、前記測定で得た情報を利用して成膜量に影響するパラメータを制御する態様が好ましい。

## 【 0 0 2 6 】



本発明の更に他の態様として、請求項 1 0 に記載のスputタ装置によれば、前記ターゲットは、前記基板と対向する位置関係になったときに、前記基板に対面するターゲット面が基板面に対して平行とならないように前記ターゲット面が所定の傾斜角度を有していることを特徴としている。

【 0 0 2 7 】

「対向する位置関係」とは、基板ホルダーの基板支持面の中心点と、該基板支持面から見たマグネトロン部の中心点との距離が最小となったときを意味する。なお、AC型マグネトロンスputタ源の場合は、隣接して配置される二つのターゲットの中心点（二つのターゲットを全体として一つのマグネトロン部と見なしたときの中心点）を「マグネトロン部の中心点」と解釈する。

【 0 0 2 8 】

傾斜角度は、ターゲットが装着されるスputタ装置の構成条件によって最適な角度に設計される。すなわち、膜厚が均一になる角度範囲でターゲット面を傾斜させる。かかる傾斜形のターゲットを用いることにより、スputタ原子の飛散方向が調整されるとともに、回転する基板とターゲット間の距離と角度の関係等の諸条件が調整され、基板の進行方向についての膜厚の均一化を実現できる。もちろん、一つのカルーセル型スputタ装置内において従来の平板形のターゲット（通常ターゲット）と本発明の傾斜形のターゲットとが混在する態様も可能である。

【 0 0 2 9 】

請求項 1 1 に記載の態様によれば、前記膜厚測定手段は、前記基板に対して測定光を照射する投光手段と、前記基板に照射された前記測定光の透過光または反射光を受光して、その受光量に応じた電気信号を出力する受光手段と、を備えたことを特徴としている。

【 0 0 3 0 】

本態様に係る膜厚測定手段は、膜厚を直接測定するのではなく、間接的な情報を測定する。すなわち、膜厚測定手段は、投光手段と受光手段とからなり、受光手段は、受光した光量に応じた電気信号を出力する。測定光には、例えば、550 nm の単色の測定光や、それより波長の短い 549 nm の単色の測定光を用い

る。投光手段から単色の測定光を投射する態様に限らず、白色の（波長選択していない）測定光を投光手段から投射し、受光側で単色化する態様もある。

【 0 0 3 1 】

請求項 1 2 に示したように、受光手段から出力された電気信号（受光信号）は演算手段に送られ、演算手段によって透過率情報または反射率情報に演算される。演算手段は、必要に応じて膜厚測定手段に内包されてもよいし、制御手段に含まれてもよい。

【 0 0 3 2 】

請求項 1 3 に記載の態様によれば、前記演算手段は、前記測定光の入射角度が  $0^{\circ}$  及びその近傍の所定の角度範囲のときに前記受光手段から得られる受光信号に基づいて、入射角度に応じた透過率または反射率を求め、入射角度と透過率または反射率の関係を示すデータを取得することを特徴としている。

【 0 0 3 3 】

カルーセル型スパッタ装置においては基板ホルダーが回転しているために、膜厚測定用の投光手段と受光手段が所定の位置に固定設置されている場合、測定光の入射角度が常に変化する。垂直入射時（入射角度  $0^{\circ}$  ）とその前後の所定の角度範囲の受光信号を演算し、透過率または反射率の入射角度に対する依存性を求める。

【 0 0 3 4 】

こうして得られた入射角度と透過率または反射率の関係を示すプロファイル（入射角度に対する透過率または反射率の変化を示す曲線）を利用することにより、成膜の終点などを確実に決定することができる。例えば、演算されるプロファイルと目標とする光学特性を有する製品の既存のプロファイルと比較したり、リアルタイムで演算されるプロファイルの形状変化を追跡するなどの手法によって成膜の終点を決定することができる。

【 0 0 3 5 】

また、本発明の他の態様として、請求項 1 4 に示したように、前記膜厚測定手段は、前記基板に対して波長の異なる複数種類の測定光を選択的に照射し得る投光手段と、前記基板に照射された前記測定光の透過光または反射光を受光して、

その受光量に応じた電気信号に変換する受光手段と、を備えたことを特徴とする態様がある。例えば、550nmと549nmの測定光を選択的に切り替えて使用する。

【0036】

請求項15に示したように、受光手段から出力された電気信号（受光信号）は演算手段に送られ、演算手段によって前記波長の異なる複数種類の測定光に対する透過率情報または反射率情報に演算される。

【0037】

請求項16に記載の態様によれば、前記演算手段は、前記波長の異なる複数種類の測定光に対して、それぞれ入射角度が0°及びその近傍の所定の角度範囲のときに前記受光手段から得られる受光信号に基づいて、入射角度に応じた透過率または反射率を求め、入射角度と透過率または反射率の関係を示すデータを取得することを特徴としている。

【0038】

更に、請求項17に示すように、前記演算手段は、前記取得した入射角度と透過率または反射率の関係を示すデータから近似変換を行って分光透過率または分光反射率を算出する態様がある。

【0039】

所定の角度範囲について得られた透過率または反射率のデータに基づき、角度を波長に換算して近似値を得る演算手法によって、当該測定波長よりも長波長側の分光透過率または分光反射率を求めることができる。波長の異なる複数種類の測定光を用いて透過率または反射率を測定することにより、一層精度の高い測定が可能となる。

【0040】

また、上記した本発明のスプッタ装置において、所定波長の単色の測定光を用いてその入射角度が0°及びその近傍の所定の角度範囲のときに前記受光手段から得られる受光信号に基づいて、入射角度に応じた透過率または反射率を求め、入射角度と透過率または反射率の関係を示すデータを取得してこれをグラフ化する第1の測定機能と、前記取得した入射角度と透過率または反射率の関係を示す

データの平均値を算出する第2の測定機能と、前記取得した入射角度と透過率または反射率の関係を示すデータから近似変換を行って分光透過率または分光反射率を算出する第3の測定機能と、前記所定波長よりも短波長側の測定光を用いてその入射角度が0°及びその近傍の所定の角度範囲のときに前記受光手段から得られる受光信号に基づいて、入射角度に応じた透過率または反射率を求め、入射角度に対する透過率または反射率の関係を示すデータを取得し、当該取得した入射角度に対する透過率または反射率の関係を示すデータから近似変換を行って分光透過率または分光反射率を算出する第4の測定機能と、を備え、前記第1乃至第4の測定機能のうち、利用される測定機能またはその組み合わせが成膜工程の段階に応じて切り替えられるように構成する態様も好ましい。

【0041】

光学多層膜を製造する場合、成膜過程の段階に応じて膜の光学的な性質が変化するため、それぞれの段階に適した測定方法を用いることにより、測定精度と膜厚制御の精度向上を図ることができる。

【0042】

請求項18乃至25に記載の発明は、請求項10乃至17に示した装置の発明に対応する方法発明を提供するものである。

【0043】

【発明の実施の形態】

以下添付図面に従って本発明のスパッタ装置及びスパッタ成膜方法の好ましい実施の形態について説明する。

【0044】

図1は本発明の実施形態に係る光学多層膜成膜用のスパッタ装置の構成を示す平面模式図であり、図2は本装置で使用される基板ホルダーの斜視図である。図1に示したスパッタ装置10は、高さ2m、直径1.5mの円筒形チャンバー12内に、ドラム（図1中不図示、図2中符号17）と該ドラム17の外周面上に設けられた基板ホルダー14とを有し、直径1mの正十二角形を構成する各基板ホルダー14がドラム17の中心軸16を回転中心として回転可能に支持された構造から成るカルーセル型のスパッタ装置である。

## 【 0 0 4 5 】

反応室となるチャンバー 1 2 は、図示せぬ排気用ポンプと連結され、スパッタに必要な低圧を得ることができる。また、図示されていないが、チャンバー 1 2 には、スパッタに必要なガスを導入するためのガス供給手段やローディング用ドアが設けられている。なお、チャンバー 1 2 の内壁は、ドラム 1 7 と概略所定間隔をもって対向する形状（内周形状）を有している。

## 【 0 0 4 6 】

図 2 に示すように、基板ホルダー 1 4 は、円筒形状のドラム 1 7 の外周面に取り付けられており、回転自在に設置されたドラム 1 7 と一体的に回転する。なお、ドラム 1 7 の形状は円筒形状に限らず、多角筒形状（横断面が多角形状）等であってもよい。

## 【 0 0 4 7 】

図 1 に示したように、基板ホルダー 1 4 には成膜用の基板（例えば、ガラス基板） 1 8 が取り付けられ、基板ホルダー 1 4 は、図示せぬ回転駆動装置によるドラム 1 7 の回転に伴って一定の回転速度（例えば、6 rpm）で回転する。チャンバー 1 2 の内側には、低屈折率膜形成用のマグネトロンスパッタ源 2 0 と、高屈折率膜形成用のマグネトロンスパッタ源 3 0 とがそれぞれ設置されている。これらマグネトロンスパッタ源 2 0、3 0 は、高さ方向の長さが 1. 2 m の矩形型マグネトロンスパッタ源であり、マグネトロンスパッタ源 2 0 または 3 0 の前を基板 1 8 が通過することによって成膜が行われる。

## 【 0 0 4 8 】

マグネトロンスパッタ源 2 0 は、単一のマグネトロン部 2 1 に対して電源（本例では、矩形波状のパルス電力を供給する DC 電源） 2 2 が接続された従来型のマグネトロンスパッタ源（以下、通常のマグネトロンという。） 2 3 と、二つのマグネトロン部 2 4、2 5 に対して一つの交流電源 2 6 が接続され、アノード／カソードの関係を所定周波数で交互に切り替える交流型マグネトロンスパッタ源（以下、AC のマグネトロンという。） 2 7 との組み合わせによって構成される。

## 【 0 0 4 9 】



同様に、マグネトロンスパッタ源 3 0 は、単一のマグネトロン部 3 1 に対して電源 3 2 が接続された通常のマグネトロン 3 3 と、二つのマグネトロン部 3 4、3 5 に対して一つの交流電源 3 6 が接続された A C のマグネトロン 3 7 との組み合わせによって構成される。

【 0 0 5 0 】

A C のマグネトロン 2 7、3 7 の動作原理は、特開平 5 - 2 2 2 5 3 0 号、特開平 5 - 2 2 2 5 3 1 号、特開平 6 - 2 1 2 4 2 1 号、特開平 1 0 - 1 3 0 8 3 0 号の各公報に開示されている。概説すると、A C のマグネトロンとは、ターゲットを二個並べて配置し、一方のターゲットがカソードの時は、他方がアノードとなり、数十 kHz の周波数でカソードとアノードが入れ替わるマグネトロン装置であり、種々の制御を行うことにより、安定かつ高速に酸化物膜や窒化物膜等を成膜することができる。

【 0 0 5 1 】

通常のマグネトロン 2 3、3 3 は、A C のマグネトロン 2 7、3 7 に比べて成膜スピードが低速である反面、膜厚を精度良く制御できるという利点がある。図 1 に示したスパッタ装置 1 0 は、高速成膜可能な A C のマグネトロン 2 7、3 7 と、高精度の膜厚制御が可能な通常のマグネトロン 2 3、3 3 を組み合わせて使用することにより、高速成膜と高精度の膜厚制御を実現している。

【 0 0 5 2 】

また、スパッタ装置 1 0 は、成膜中に膜厚を測定する手段（膜厚モニタリングシステム）として、ハロゲンランプ 4 0、モノクロメータ 4 1、光ファイバー 4 2、投光ヘッド 4 4、受光ヘッド 4 6、受光処理部 4 8 を備えている。ハロゲンランプ 4 0 からの光は、モノクロメータ 4 1 によって波長選択された後、光ファイバー 4 2 を介して投光ヘッド 4 4 に導かれる。投光ヘッド 4 4 は、基板ホルダー 1 4 の内側（ドラム 1 7 の内側）に設置され、投光ヘッド 4 4 から基板 1 8 に向けて光が照射される。なお、基板ホルダー 1 4 の縦方向中央部には回転方向に 1 0 cm の長さで光通過用の開口（不図示）が形成されている。

【 0 0 5 3 】

チャンバー 1 2 の外側には、受光ヘッド 4 6 が設置されており、チャンバー 1



2の外壁には受光ヘッド46に光を導く窓部（不図示）が設けられている。基板18を透過した光は、受光ヘッド46で受光され、受光量に応じた電気信号に変換された後、受光処理部48に送られる。受光処理部48は、受入した信号に対して所定の信号処理を行い、コンピュータ入力用の測定データに変換する。受光処理部48で処理された測定データは、パーソナルコンピュータ（以下、パソコンという。）50に送られる。

## 【0054】

パソコン50は、中央演算処理装置（CPU）を備え、演算処理装置として機能し、受光処理部48から受入する測定データに基づいて、各スパッタ電源（22、26、32、36）を制御する制御装置としても機能する。また、パソコン50によってハロゲンランプ40の発光制御や、基板ホルダー14の回転制御、チャンバー12の圧力制御、導入ガスの供給制御及びシャッター（図1中不図示、図5中符号72、74、76、78）の開閉制御等を行うことができる。パソコン50には各制御に必要なプログラムや各種データが組み込まれている。

## 【0055】

図1では、膜厚測定用の光学式測定手段の光源部として、ハロゲンランプ40及びモノクロメータ41を用いたが、膜厚モニタリングシステムに使用される光学式測定手段の光源部は、図1の構成例に限定されず、測定対象に応じて適切な光源が選択される。例えば、WDM用フィルターの製造の際には、波長＝1460～1580nmのチューナブルレーザー（可変波長レーザー）を用いる。また、単色の測定光を用いる態様に限らず、白色の測定光を用いて受光部側で単色化する態様もある。単色の測定光を利用する態様に比べて、受光部側で単色化をする態様はノイズが少ないという利点がある。

## 【0056】

次に、上記の如く構成されたスパッタ装置10の動作について説明する。以下に述べる実施例は、低屈折率膜として $\text{SiO}_2$ 、高屈折率膜として $\text{TiO}_2$ をそれぞれ反応性スパッタにより成膜する例を説明する。

## 【0057】

最初に、高屈折率膜形成用のマグネトロンスパッタ源30の各マグネトロンの部

3 1、3 4、3 5 には T i ターゲット 5 2、5 3、5 4 が取り付けられており、低屈折率膜形成用のマグネトロンスパッタ源 2 0 の各マグネトロン部 2 1、2 4、2 5 には S i ターゲット 6 2、6 3、6 4 が取り付けられている。ターゲットの大きさは、通常用が高さ 1. 1 m、幅 1 5 cm、A C 用は各々、高さ 1. 1 m、幅 1 0 cm のものが用いられる。

【 0 0 5 8 】

また、それぞれの基板ホルダー 1 4 には、厚さ 1. 1 mm、1 0 cm 角のガラス基板 1 8 を 9 枚ずつ、縦方向に並んで取り付ける。次いで、チャンバー 1 2 をロータリーポンプで 5 Pa まで粗引きした後、クライオポンプで  $1 \times 10^{-3}$  Pa まで排気する。

【 0 0 5 9 】

次に、アルゴンガスを 1 0 0 sccm、酸素ガスを 3 0 sccm、マスフローコントローラを通してチャンバー 1 2 内に導入する。そのときのガス圧は 0. 4 Pa であった。

【 0 0 6 0 】

S i O<sub>2</sub> 膜を成膜するために、S i ターゲット 6 2 が取り付けられている通常のマグネトロン 2 3 に直流 1 0 kW の矩形波状のパルス電力（周波数 5 0 kHz ）、S i ターゲット 6 3、6 4 が取り付けられている A C のマグネトロン 2 7 に交流 2 0 kW の電力をそれぞれ供給し、ターゲットと基板間に配置されているシャッター（図 1 中不図示）を閉めて五分間の予備放電を行い、その後両方のシャッターを開いて成膜を行う。

【 0 0 6 1 】

成膜中は、上記した膜厚モニタリングシステムによって基板ホルダー 1 4 上の基板 1 8 について透過率を測定する。基板 1 8 の透過率は、成膜される膜厚に対応して変化するため、透過率を監視することによって膜厚を把握することができる。参考のために、図 3 に本実施例における膜厚モニタの信号例を示す。

【 0 0 6 2 】

膜厚モニタリングシステムによって膜厚を監視しながら成膜を行い、設計膜厚の 9 0 % まで成膜した時点で A C のマグネトロン 2 7 への電力の供給を止め、通

常のマグネトロン 2 3 のみで成膜を行う。成膜中は、透過率の測定結果をパソコン 5 0 で演算し、その測定結果の情報を各電源 2 6、2 2 にフィードバックすることにより、基板 1 8 の回転方向に関する膜の均一性の向上と同時に、膜厚が設計膜厚になるようにコントロールする。なお、基板ホルダー 1 4 の回転速度やシャッターの開度（開閉量）を制御して成膜を調整することも可能である。

## 【 0 0 6 3 】

次に、 $TiO_2$  膜を成膜するために、 $Ti$  ターゲット 5 2 が取り付けられている通常のマグネトロン 3 3 に直流 1 5 kW、 $Ti$  ターゲット 5 3、5 4 が取り付けられている AC のマグネトロン 3 7 に交流 3 0 kW の電力をそれぞれ供給し、 $SiO_2$  膜の成膜工程と同様に、五分間の予備放電を行った後に、両方のシャッターを開けて成膜を行う。 $TiO_2$  膜の場合も、設計膜厚の 9 0 % まで成膜した時点で AC のマグネトロン 3 7 への電力の供給を止め、通常のマグネトロン 3 3 のみで成膜を行う。成膜中に、透過率の測定結果を各電源 3 6、3 2 にフィードバックして、膜の均一性を向上させ、正確な膜厚管理を行う点は  $SiO_2$  膜の成膜工程と同様である。

## 【 0 0 6 4 】

上述した  $SiO_2$  膜の成膜工程及び  $TiO_2$  膜の成膜工程を繰り返し行い、ガラス（基板）/ $SiO_2$  (94.2nm) /  $TiO_2$  (57.3nm) /  $SiO_2$  (94.2nm) /  $TiO_2$  (57.3nm) /  $SiO_2$  (94.2nm) /  $TiO_2$  (57.3nm) /  $SiO_2$  (188.2nm) /  $TiO_2$  (57.3nm) /  $SiO_2$  (94.2nm) /  $TiO_2$  (57.3nm) /  $SiO_2$  (94.2nm) /  $TiO_2$  (57.3nm) /  $SiO_2$  (94.2nm) の 1 3 層のバンドパスフィルターを作成した。なお、このような膜構成を、ガラス / ( $SiO_2$  94.2 /  $TiO_2$  57.3nm)<sup>3</sup> /  $SiO_2$  188.2nm / ( $TiO_2$  57.3nm /  $SiO_2$  94.2nm)<sup>3</sup> と表記する。

## 【 0 0 6 5 】

この作成されたバンドパスフィルターの分光特性を図 4 に示す。同図中黒丸（ ）は設計値であり、実線は本実施例による作成したバンドパスフィルターの分光特性の測定結果を示す。点線は、比較のため、前記実施例の AC のマグネトロンが無く、電源へのフィードバックシステム無しとした図 2 7 のような構成のス

パッタ装置を用いて作成したバンドパスフィルターの分光特性の測定結果を示した。図4によれば、本発明を適用して作成したバンドパスフィルターは、ほぼ設計値通りの分光特性を示しているが、電源へのフィードバック無しで作成したものは、バンドパスフィルターの設計波長（550nm）と異なる波長で透過率がピークを持っている。

【0066】

本実施の形態に係るスパッタ装置10を利用することによって、基板18に多層膜を高速で成膜でき、かつ高精度で膜厚制御することが可能になり、WDM用フィルターやダイクロイックミラーなどを生産性よく製造することができる。

【0067】

上記実施例の場合、設計膜厚の90%の膜厚まで、ACのマグネトロンと通常のマグネトロンとを同時稼働させ、その後ACのマグネトロンのみ放電を止めて、通常のマグネトロンのみ放電を継続するようにしたが、制御方式はこの例に限定されない。例えば、90%までACのマグネトロンのみで成膜し、その後通常のマグネトロンのみで成膜するという制御方式も可能である。もちろん、ACのマグネトロンを止めるタイミングは、設計膜厚の90%成膜時点に限定されず、適宜設定可能である。

【0068】

また、上記実施例では、ACのマグネトロンへの給電中（設計膜厚の90%に到達するまでの期間）も膜厚をモニタリングしながら膜厚制御を行っているが、ACのマグネトロンへの電力供給中は膜厚のモニタリングはするが膜厚制御は行わず、予め調査されている投入電力とスパッタ時間による膜厚予測値に基づいて時間管理を行い、所定時間経過した時にACのマグネトロンへの電源を停止してもよい。そして、通常のマグネトロンのみで成膜を開始した時点で膜厚制御（例えば、電源にフィードバックさせて制御する）を開始する態様も可能である。

【0069】

基板18上で膜厚を測定する場所（測定ポイント）は、基板18の中央部の一カ所であってもよいし、回転方向に沿った横方向（「進行方向」という。）について複数箇所の測定を行い横方向の膜厚分布を測定してもよい。更に、基板ホル

ダー 1 4 の回転軸に沿った縦方向について複数の膜厚測定手段（投光ヘッド 4 4 及び受光ヘッド 4 6）を配置して、縦方向について複数箇所での膜厚の測定を行う態様も可能である。

【 0 0 7 0 】

図 1 に示したスパッタ装置 1 0 は、基板ホルダー 1 4 の内側に投光ヘッド 4 4 を配置し、受光ヘッド 4 6 はチャンバー 1 2 の外部に設置したが、投光ヘッド 4 4 と受光ヘッド 4 6 の配置関係を入れ替える態様も可能である。

【 0 0 7 1 】

次に、上述した実施形態の変形例を説明する。

【 0 0 7 2 】

図 5 は、他の実施形態に係る光学多層膜成膜用のスパッタ装置 7 0 の模式図である。図 5 中図 1 と共通する部分には同一の符号を付し、その説明は省略する。なお、図 5 では、図面の簡略化のため、ハロゲンランプ 4 0、モノクロメータ 4 1、光ファイバー 4 2、受光処理部 4 8 及びパソコン 5 0 等の構成を図示しないものとする（図 6 及び図 7 においても同様）。

【 0 0 7 3 】

図 5 に示したスパッタ装置 7 0 は、低屈折率膜形成用及び高屈折率膜形成用の双方について、通常のマグネトロン 2 3、3 3 と、AC のマグネトロン 2 7、3 7 の設置場所が隔てられ、各マグネトロン（2 3、3 3、2 7、3 7）と基板 1 8 との間にそれぞれ開閉可能なシャッター 7 2、7 4、7 6、7 8 が設けられている。同図では、低屈折率膜を成膜している状態が示され、低屈折率膜形成用の通常のマグネトロン 2 3 及び AC のマグネトロン 2 7 前に配置されたシャッター 7 2、7 6 は開状態、高屈折率膜形成用の通常のマグネトロン 3 3 及び AC のマグネトロン 3 7 前に配置されたシャッター 7 4、7 8 は閉状態となっている。

【 0 0 7 4 】

同図において、反応性スパッタプロセスにより所望の膜厚が得られた時点でシャッター 7 2、7 6 を閉じることによって、成膜反応を確実に停止させることができるとともに、成膜に使用しないスパッタ源のシャッター 7 4、7 8 を閉じておくことにより、ターゲットの劣化を防止できる。低屈折率膜の成膜が完了した



ら、シャッター 7 4、7 8 を開けて高屈折率膜の成膜を実施する。

【 0 0 7 5 】

また、図 6 に示したように、各マグネトロン（2 3、3 3、2 7、3 7）の左右両脇に防着板 8 0 を配置する態様も好ましい。防着板 8 0 は、プラズマの回り込みを防止する作用を有し、マグネトロン部正面に位置する基板 1 8 に対してのみ成膜作用を制限し、それ以外の基板（隣接する基板）に対する成膜を防止する。防着板 8 0 によって各マグネトロンスパッタ源の左右を個別に包囲したことにより、他のマグネトロンスパッタ源によるプラズマの影響を受けず、ターゲットへの不純物の付着を防止できる。

【 0 0 7 6 】

図 7 は、カソード配置のバリエーションを示す図である。本発明の実施に際しては、図 7（a）乃至（d）に示すように、カソード配置に関して種々の形態が可能である。同図中「H」なる記号は高屈折率膜形成用のカソード（マグネトロン部）を示し、「L」は低屈折率膜形成用のカソード（マグネトロン部）を示す。図 7（a）は、高屈折率膜形成用のカソードと低屈折率膜形成用のカソードを離して配置した例であり、図 5 で説明した通りである。図 7（b）はプラズマの干渉を避けるために、高屈折率膜形成用のカソードと低屈折率膜形成用のカソードを隣接させた例である。同図（c）は膜厚モニタへの干渉を避けるために、モニタ位置をカソードから離れた位置に設定した例である。同図（d）は、膜厚を測定する手段として、透過型のモニタと反射型モニタとを併用した例が示されている。

【 0 0 7 7 】

透過型モニタは、図 1 で説明したように、投光ヘッド 4 4 と受光ヘッド 4 6 を用いて基板 1 8 の透過率を測定する手段である。反射型モニタは、ヘッド 8 2 から基板 1 8 に向けて光を照射し、その反射光をヘッド 8 2 で受光して、受光信号の解析によって反射率を測定する手段である。図示されていないが、図 1 と同様のハロゲンランプ 4 0、モノクロメータ 4 1 及び光ファイバー 4 2 を用いて反射型モニタのヘッド 8 2 に測定用の光が導かれ、ヘッド 8 2 で受光した光（反射光）は受光信号処理手段を介してパソコン 5 0 に送られる。



## 【 0 0 7 8 】

図 7 ( d ) のように、透過型モニタと反射型モニタを併用する場合、透過率が低い領域は反射率の測定結果を用いて制御を行い、透過率が高い領域は透過率の測定結果を用いて制御を行う態様が好ましい。すなわち、透過式／反射式の制御の切り替えを判定するための基準となる透過率（判定基準値）を予め設定しておき、この判定基準値よりも透過率が低い場合には、反射率の測定結果を利用して制御を行い、判定基準値よりも透過率が高い場合には、透過率の測定結果を利用して制御を行う。

## 【 0 0 7 9 】

図 8 には、本発明の実施に際して主に使用されるターゲット材と膜材料が示されている。低屈折率材料としては、既述した Si ターゲットを用いて  $\text{SiO}_2$  膜を形成する態様その他、SiC ターゲットを用いて  $\text{SiO}_2$  膜を形成する態様、ターゲットに Si と Al の合金を用いて  $\text{SiO}_2$  と  $\text{Al}_2\text{O}_3$  とからなる酸化物膜を形成する態様などがある。

## 【 0 0 8 0 】

高屈折率材料についても、既述した Ti ターゲットを用いて  $\text{TiO}_2$  膜を形成する態様その他、図 8 に示したように、ターゲット材を選択することによって、種々の膜材料を成膜することができる。また、図 8 には示されていないが、ターゲット材は金属（導電性材料）以外にも、DC スパッタが可能な酸化物、窒化物、酸窒化物、炭化物等も使用可能である。

## 【 0 0 8 1 】

図 9 は、本発明の実施に際して利用される基板の例が示されている。同図に示したように、WDM 用フィルターには、基板として OHARA 社製 WMS（結晶化ガラス）が使用される。また、他の光学フィルター用の基板としては、白板ガラス、硬質ガラス、人工水晶等、図 9 に示した各種のガラスが用途に応じて使用される。

## 【 0 0 8 2 】

次に、本発明の他の実施形態について説明する。

## 【 0 0 8 3 】

図 1 0 は、他の実施形態に係る光学多層膜成膜用のスパッタ装置 1 0 0 の構成図である。同図中図 1 及び図 5 に示した装置と同一または類似の部分には同一の符号を付し、その説明は省略する。図 1 0 において、「低速成膜 1」と記載した通常のマグネトロン 2 3 及び「高速成膜 1」と記載した A C のマグネトロン 2 7 は、低屈折率膜成膜用のスパッタ源である。また、「低速成膜 2」と記載した通常のマグネトロン 3 3 及び「高速成膜 2」と記載した A C のマグネトロン 3 7 は、高屈折率膜成膜用のスパッタ源である。

#### 【 0 0 8 4 】

これら各マグネトロン 2 3、2 7、3 3、3 7 は、その中心線 2 3 A、2 7 A、3 3 A、3 7 A（各マグネトロンの中心を通り、ターゲット支持面に垂直な線）が基板ホルダー 1 4 の回転中心（中心軸 1 6）と交差するように、回転中心の方向に向いて配置されている。図 1 0 のように、基板ホルダー 1 4 によって構成される正十二角形の内接円を 1 5 A、外接円を 1 5 B とすると、基板ホルダー 1 4 と各マグネトロン 2 3、2 7、3 3、3 7 までの距離は、基板ホルダー 1 4 の回転に伴い、内接円 1 5 A から外接円 1 5 B の範囲で変動する。同図では、基板ホルダー 1 4 の基板支持面の中心点と、該基板支持面から見た各マグネトロン 2 3、2 7、3 3、3 7 の中心点との距離が最小となったときの状態（基板とターゲットが対向する位置関係の状態）が示されている。

#### 【 0 0 8 5 】

シャッター 7 2、7 2、7 6、7 8 は、それぞれローラ 7 9 の回転力によって開閉動作するように構成され、スパッタ電源 2 2、2 6、3 2、3 6 の制御に連動して、対応するシャッター 7 2、7 2、7 6、7 8 の開閉が制御される。

#### 【 0 0 8 6 】

膜厚モニタリングシステムの光源としてハロゲンランプ 4 0 を用いる場合、図 1 0 に示すように、モノクロメータ 4 1 の出力部にチョッパ 8 4 が配置される。モノクロメータ 4 1 からの出力光（単色光）をチョッパ 8 4 によって周期的に遮光することにより、パソコン 5 0 内の C P U 5 1 において光源のノイズ成分を除去する演算が行われる。受光処理部 4 8 は、チョッパ 8 4 を作動させる変調信号を出力するとともに、入力される受光信号の電圧値をデジタル信号に変換して C

P U 5 1 に提供するコントロールアンプ（図 1 1 中符号 4 9 として記載）を備えている。

【 0 0 8 7 】

図 1 1 は、ハロゲンランプを利用する膜厚モニタリングシステムの詳細な構成を示すブロック図である。ハロゲンランプ 4 0 は、ランプ電源 8 6 から電力の供給を受けて発光する。ハロゲンランプ 4 0 から照射される光（白色光）は、モノクロメータ 4 1 によって単色化された後、チョッパ 8 4 に入射する。チョッパ 8 4 は、コントロールアンプ 4 9 から与えられる変調信号に従って作動し、チョッパ 8 4 を介して変調された単色光が出力される。この変調された単色光は、光分割手段（ハーフミラーなど） 8 7 によって 2 分割され、その一方は成膜空間となるチャンバー 1 2 内に導入されて測定対象の基板 1 8 （測定用試料に相当）に照射される。基板 1 8 を透過した光はフォトマルメータ 8 5 に入射し、透過光の光量に応じた電圧信号に変換される。フォトマルメータ 8 5 から出力される電圧信号は、コントロールアンプ 4 9 によってデジタル信号に変換された後、C P U 5 1 に送られる。

【 0 0 8 8 】

また、光分割手段 8 7 で分割された他方の分岐光は、光源情報を得るための光としてフォトダイオード 8 8 に入射する。コントロールアンプ 4 9 は、フォトダイオード 8 8 に対してチョッパ 8 4 と同期する変調信号を与えており、フォトダイオード 8 8 からはモノクロメータ 4 1 から出射される光源直接光の光量に応じた電圧信号が出力される。フォトダイオード 8 8 から出力された電圧信号は、コントロールアンプ 4 9 においてデジタル信号に変換された後、C P U 5 1 に送られる。

【 0 0 8 9 】

C P U 5 1 は、コントロールアンプ 4 9 から受入した透過光のデータと光源直接光のデータに基づいて、透過率の算出、光学膜厚の算出、並びに成膜レートの算出等の演算を行う。

【 0 0 9 0 】

ハロゲンランプ 4 0 の白色光をモノクロメータ 4 1 によって単色化してから基

板 1 8 に照射する態様に限らず、白色の測定光を基板 1 8 に照射し、受光側で単色化してもよい。この場合、受光ヘッド 4 6 の前段にモノクロメータが配置される。受光側で単色化する態様は、単色の測定光を用いる態様に比べてノイズが低減される。

#### 【 0 0 9 1 】

図 1 1 に示したシステム構成に代えて、図 1 2 に示すシステム構成も可能である。図 1 2 中図 1 1 と同一または類似の部分には同一の符号を付し、その説明は省略する。図 1 2 に示した例では、光源部に可変波長レーザー 9 0 が用いられ、コントロールアンプ 4 9 からの変調信号によって出力波長が選択される。また、可変波長レーザー 9 0 は出力が安定しているため、図 1 1 で説明した光源直接光の監視が不要となる。

#### 【 0 0 9 2 】

ところで、カルーセル型スパッタ装置は、正多角形を構成する各基板ホルダーを回転させながら成膜を行う構造であるため、特開平 3 - 2 5 3 5 6 8 号公報でも指摘されているように、正多角形の辺にあたる部分と、稜にあたる部分とでは、ターゲットとの最短接近距離、並びにターゲットに対する基板面の角度の関係が異なる。そのため、基板に対するスパッタ原子の付着確率が異なり、基板の回転方向（回転しながら基板の横幅方向に進む方向という意味で「進行方向」という。）に対する膜厚分布が不均一になるという傾向がある。

#### 【 0 0 9 3 】

図 1 3 にその模式図を示す。図 1 3 (a) は、基板ホルダー 2 0 2 により構成される正多角形の辺にあたる部分がターゲット 2 1 0 に最接近した状態を示し、同図 (b) は、正多角形の稜がターゲット 2 1 0 に最接近した状態を示す。なお、符号 2 2 0 はターゲット 2 1 0 が装着されるマグネトロン部のバックングプレートである。スパッタ原子の付着確率は、ターゲット 2 1 0 から基板 2 0 4 面内の各位置までの距離  $r$  とその方向（「ベクトル  $\langle r \rangle$ 」という。）、及びベクトル  $\langle r \rangle$  と基板面とのなす角度  $\phi$  に依存する。

#### 【 0 0 9 4 】

図 1 3 (a) 及び (b) に示したように、基板ホルダー 2 0 2 の回転に応じて

、正多角形の辺にあたる部分と稜にあたる部分とではベクトル $\langle r \rangle$ と角度 $\phi$ が変化するため、従来の成膜方法では、図 1 3 (c) に示すように基板 2 0 4 の周辺部分により多くの原子が付着し、中心部に比べて周辺部の膜厚が大きくなるという傾向がある。

## 【 0 0 9 5 】

本発明においては膜厚分布の均一化を達成するため、本実施形態に係るスパッタ装置 1 0 0 は、図 1 4 に示すターゲットが用いられる。図 1 4 (a) は断面図、同図 (b) は平面図である。このターゲット 9 2 は、図 1 0 の符号 2 3 及び符号 3 3 で示した低速成膜用のスパッタ源に適用されるものであり、図 1 4 に示したとおり、ターゲット上表面面が中央位置（ドラム 1 7 の回転軸方向に沿う稜線 9 2 C）をピークとして左右両方向に傾斜した、いわゆる屋根形（逆 V 字形）の形状を有している。水平面に対する傾斜角度  $\theta$  は、基板ホルダー 1 4 で構成される正多角形の角数、直径、基板の大きさ、基板－ターゲット間の距離（設計上の平均距離）などに依存して、膜厚分布の均一化を実現し得るように最適な角度に設計される。

## 【 0 0 9 6 】

従来のターゲットは、板厚が一定の平板形であり、基板とターゲットが対向した位置関係になった時に、基板面とターゲット面が平行状態となっていた（図 1 3 (a) 参照）。これに対し、図 1 4 に示したターゲット 9 2 は、基板とターゲットが対向した位置関係になった時に、ターゲット面が基板面に対してわずかに角度を持っている（傾斜角度  $\theta$ ）状態となる。

## 【 0 0 9 7 】

上記の如く構成されたターゲット 9 2 を用いると、図 1 5 (a)、(b) に示したように、スパッタ原子はターゲット傾斜面 9 2 A、9 2 B から放出されるため、その飛散分布（スパッタ原子の密度）はターゲット傾斜面 9 2 A、9 2 B の法線方向に広がる（つまり、V 字形の放出となる）。また、原子放出面となるターゲット傾斜面 9 2 A、9 2 B と基板 1 8 の各位置までの距離とその方向（ベクトル $\langle r \rangle$ ）、並びにベクトル $\langle r \rangle$ と基板面との成す角度 $\phi$ の関係等の諸条件がバランスよく均整化されることにより、図 1 5 (c) に示したように、基板 1 8 の



進行方向（図において横方向）についての膜厚の均一化を実現できる。

【 0 0 9 8 】

図 1 6 は、本発明による傾斜形のターゲット 9 2 を用いた成膜による膜厚分布と、従来の平板形のターゲット（通常ターゲット）を用いた成膜による膜厚分布とを比較したグラフである。同図に示したグラフは、下記の実施条件の下で得られた実験結果である。すなわち、図 1 0 に示したスパッタ装置 1 0 0 において、直径 1 m の正十二角形を構成する各基板ホルダーを用い、基板－ターゲット間距離 6 0 mm、基板サイズ 1 0 cm 角とし、符号 2 3（または 3 3）で示した低速成膜用のスパッタ源に「通常ターゲット」を装着して成膜を行った結果と、傾斜形のターゲット 9 2（傾斜角度  $\theta = 5^\circ$ ）を装着して成膜を行った結果である。

【 0 0 9 9 】

図 1 6 から明らかなように、通常ターゲットでは基板の中心に比べて周辺部分の膜厚が大きくなるが、本発明による傾斜形のターゲット 9 2 の場合には、膜厚の進行方向分布が均一化される。

【 0 1 0 0 】

上記した低速成膜用のスパッタ源と同様に、図 1 0 中符号 2 7、3 7 で示した高速成膜用のスパッタ源については、図 1 7 に示す傾斜形のターゲット 9 4、9 5 が適用される。図 1 7（a）の断面図及び同図（b）の平面図に示したターゲット 9 4 は、図 1 0 の符号 6 3、5 4 に示したターゲットとして用いられる。また、図 1 7（c）及び（d）に示したターゲット 9 5 は、図 1 0 の符号 6 4、5 3 に示したターゲットとして用いられる。高速成膜用のスパッタ源（AC のマグネトロン）において、隣接して配置される二つのターゲットのターゲット面を同方向に傾斜させても膜厚の均一化を達成することはできないため、これら二つのターゲットは互いに線対称（または略線対称）の関係で配置される。

【 0 1 0 1 】

図 1 7 に示した各ターゲット 9 4、9 5 の傾斜角度  $\theta$  は、スパッタ装置の具体的条件に依存して最適な角度に設計される。図 1 でも説明したとおり、高速成膜用に用いられる AC のマグネトロンは、二つの隣接するマグネトロン部に装着されたターゲットのアノード／カソード関係が交互に切り替えられ、全体として一



つのスパッタ源として作用し得るものであるため、図 1 7 に示したように、左右のターゲット 9 4、9 5 がそれぞれ単一の傾斜面（片側のみが傾斜する、いわゆる楔形）を有することで、これら二つのターゲット 9 4、9 5 を組み合わせて使用する場合に、図 1 4 で説明したターゲット 9 2 と同等の屋根形のターゲット面が構成される。図 1 7 に示したターゲット 9 4、9 5 の作用については、図 1 5 と同様である。

#### 【 0 1 0 2 】

図 1 8 は、図 1 7 に示した傾斜形ターゲット 9 4、9 5 を用いた AC のマグネトロンによる膜厚分布と、従来の平板形ターゲット（通常ターゲット）を用いた AC のマグネトロンによる膜厚分布とを比較したグラフである。図 1 8 に示したグラフは、下記の実施条件の下で得られた実験結果である。すなわち、図 1 0 に示したスパッタ装置 1 0 0 において、直径 1 m の正十二角形を構成する各基板ホルダーを用い、基板－ターゲット間距離 6 0 mm、基板サイズ 1 0 cm 角とし、符号 2 7（または 3 7）で示した高速成膜用のスパッタ源に「通常ターゲット」を装着して成膜を行った結果と、傾斜形ターゲット 9 4、9 5（両者とも傾斜角度  $\theta = 5^\circ$ ）を装着して成膜を行った結果である。

#### 【 0 1 0 3 】

図 1 8 から明らかなように、通常ターゲットでは基板の中心に比べて周辺部分の膜厚が大きくなるが、本発明による傾斜形ターゲットの場合には、膜厚の進行方向分布が均一化される。

#### 【 0 1 0 4 】

図 1 7 に示したターゲット 9 4、9 5 に代えて、図 1 9 に示すターゲット 9 6、9 7 を用いる態様も可能である。すなわち、図 1 9（a）、（b）に示したターゲット 9 6 は図 1 7 のターゲット 9 4 と置換され、図 1 9（c）、（d）に示したターゲット 9 7 は、図 1 7 のターゲット 9 5 と置換される。図 1 9 に示したように、AC のマグネトロンに適用する左右のターゲット 9 6、9 7 の上表面をそれぞれ屋根形（「 $\wedge$ 」形）に構成する態様も可能である。この場合、内側の傾斜面 9 6 A、9 7 A の傾斜角（ $\theta 1$ ）と、外側の傾斜面 9 6 B、9 7 B の傾斜角（ $\theta 2$ ）は、スパッタ装置 1 0 0 の構成条件等に依存して適切な値に設計される

。これにより、膜厚の進行方向分布が均一化される。

【0 1 0 5】

次に、膜厚のモニタリング方法に関する他の実施形態を説明する。

【0 1 0 6】

目標とする光学膜厚  $nd$ （ただし、 $n$ は膜の屈折率、 $d$ は物理膜厚）に対して、次式（1）

【0 1 0 7】

$$\text{【数 1】 } nd = m\lambda / 4 \quad \dots (1)$$

ただし、 $m$ は正の整数、 $\lambda$ は光の波長とする。

【0 1 0 8】

を満たすような波長  $\lambda$  の光を測定光として用い、この測定光を成膜中の基板に垂直入射させて（入射角度  $= 0^\circ$ ）、その透過率（または反射率）を測定すると、成膜された膜の光学膜厚が測定波長  $\lambda$  の  $1/4$  の整数倍となるとき（すなわち、上記式（1）を満たすとき）に、透過率（または反射率）が極値をとる。

【0 1 0 9】

図 2 0 は、ガラス基板上に  $TiO_2$ （ $n = 2.4$ ）の膜を形成した時の測定波長  $550\text{ nm}$  に対する透過率の変化を示したグラフである。同図において、横軸は成膜された膜厚（物理膜厚  $d$ ）を示し、縦軸が透過率を示す。同図に示したように、光学膜厚  $nd$  が  $\lambda/4$  の整数倍のときに透過率が極値を示している。

【0 1 1 0】

かかる現象を利用して、目標とする膜厚に対して上記式（1）を満たす測定波長  $\lambda$  の光を用いて、膜厚のモニタリング及び成膜制御を行うことができる。

【0 1 1 1】

しかし、図 1 や図 1 0 で示したようなカルーセル型スパッタ装置の場合、基板ホルダー 1 4 が回転しているために、測定光の入射角度と測定位置（モニタ位置）は常に変化している。測定光の入射角度が変化したとき、透過率の値が大きく変化してしまうと、精度のよい測定及び成膜制御が困難になる。実際、1 0 層以上の膜構成の場合、測定光の入射角度が変化することで透過率の極値の位置や透過率に変化してしまうため、従来の方法では膜厚測定及び成膜制御を行うことが

困難である。

【 0 1 1 2 】

上記のような問題を解決するための手法について、以下、具体的な例を用いて説明する。

【 0 1 1 3 】

図 2 1 は、ガラス / (  $\text{TiO}_2$  92.9nm /  $\text{SiO}_2$  57.3nm )<sup>7</sup> /  $\text{TiO}_2$  185.8nm / (  $\text{SiO}_2$  57.3nm /  $\text{TiO}_2$  92.9nm )<sup>7</sup> の膜構成からなる 2 9 層 1 キャビティのバンドパスフィルター（中心波長 5 5 0 nm）を成膜したときの波長 5 5 0 nm の測定光による透過率の変化を示すグラフである。

【 0 1 1 4 】

成膜過程での各段階における膜の光学的な性質に着目して、図 2 1 に示したように区間 A ～ D の 4 区間に区分けすることができる。

【 0 1 1 5 】

区間 A（第 1 層～第 1 2 層）は、透過率が膜厚に大きく依存し、測定光の入射角度には殆ど依存しない区間である。実際、0° 入射の透過率と 1 0° 入射の透過率の値はほぼ一致している。区間 B（第 1 3 層～第 1 8 層）は、透過率が膜厚にも入射角度にも殆ど依存せず、また、透過率の変化が少ない区間である。区間 C（第 1 9 層～第 2 9 層）は、透過率が膜厚にも入射角度にも依存する区間である。0° 入射の透過率と、1 0° 入射の透過率とでは大きく異なり、1 0° 入射の透過率は小さい値（1 0 % 未満）となっている。また、区間 D（第 2 9 層）は、光学特性を調整するための区間である。

【 0 1 1 6 】

各区間ごとに、それぞれ適したモニタリング及び成膜制御を行い、モニタリングの精度と、膜の光学的性質の制御性を向上することができる。以下に、各区間での制御方法を示す。

【 0 1 1 7 】

< 区間 A での膜厚制御 >

図 2 2 は、1 層目、2 層目、3 層目、及び 9 層目の成膜中に得た透過率のデータの角度依存性を示すグラフである。第 1 層から第 1 2 層までの区間（区間 A）

では、図 2 2 に示すように、入射角度が変化しても透過率は殆ど変化しない。したがって、基板が回転する中で連続的に取得される透過率のデータを入射角度  $\pm 5^{\circ}$  ～  $\pm 15^{\circ}$  程度の範囲内の平均値をとることで、垂直入射時の透過率とほぼ同等の値を得ることができる。得られた垂直入射時の透過率から、透過率が極値となる時間を算出し、実際に透過率の値が極値となる値になった時点で成膜を停止する方法により膜厚を制御することができる。なお、測定対象となる基板 1 8 は回転しているために、 $0^{\circ}$  入射時には基板 1 8 の中心を測定しているが、入射角度が大きくなるほど、基板の中心からずれた位置をモニタすることになる。しかしながら、図 1 4 乃至図 1 9 で説明した傾斜形のターゲットを利用したことで、基板の進行方向に対する膜厚分布は均一化されていることと相まって、モニタ位置が変動しても膜厚を正しく測定することができる。

#### 【 0 1 1 8 】

##### < 区間 B での成膜方法 >

第 1 3 層から第 1 8 層までの区間では、透過率の値が小さく、膜厚の増加に対する透過率の変化が小さいため精度のよい膜厚制御が困難である。したがって、この区間 B では、透過率は参考データとしてのみデータを収集し、主として、第 1 層から第 1 2 層までの成膜工程における透過率の変化量と成膜時間の関係から、現状の成膜レートを算出して、所望の膜厚が得られる時間になったときに成膜を停止する方法により、膜厚を成膜時間で制御する。

#### 【 0 1 1 9 】

##### < 区間 C での成膜方法 >

図 2 3 は、2 8 層目以降の透過率の角度依存性を示すグラフである。第 1 9 層から第 2 9 層までの区間（区間 C）では、図 2 3 に示すように、透過率の値が角度に依存して変化するため、区間 A のような制御方法が困難となる。しかし、図 2 3 に示すように、入射角度  $0^{\circ}$  のときの透過率を示す点は、測定によって取得される透過率曲線が線対象の対象軸と交わる点となるため、入射角度  $0^{\circ}$  のタイミングを示す厳密なトリガがなくても、測定によって得られた透過率のデータを演算処理することにより、垂直入射時（入射角度  $0^{\circ}$ ）の透過率を求めることができる。また、測定により得られる透過率曲線のピーク位置や、角度に対する変

化率または面積（つまり曲線の形状）から極値をとる膜厚を判定することができる。更に、角度を変化させて得られた透過率曲線を近似変換することにより、図 2 4 に示すように、測定波長  $\lambda$  の長波長側の分光透過率を得ることができる。

#### 【 0 1 2 0 】

図 2 4 は、入射角度  $0^{\circ} \pm 10^{\circ}$  の範囲で取得される透過率曲線のデータを近似変換して得られる分光透過率のグラフである。 $\pm 10^{\circ}$  の範囲のデータを利用することにより、測定波長  $\lambda$  ( $= 550 \text{ nm}$ ) の長波長側、すなわち、 $550 \text{ nm} \leq \lambda \leq 552.35 \text{ nm}$  の分光透過率を予測できる。この予測値は、図 2 4 に示したとおり、実際の分光透過率（実験によって確認される分光透過率）と極めて高い精度で一致している。

#### 【 0 1 2 1 】

##### < 区間 D での成膜方法 >

1 層目から順次成膜してきた過程の中で、実際の膜厚が目標膜厚に対して誤差を生じたために、所望の光学特性が得られていないことがある。このような場合、成膜過程の中で光学特性の修正を行う層が設けられる。本例では、この修正用の層を第 29 層（最終層）とし、これを区間 D とした。

#### 【 0 1 2 2 】

この区間 D では、式 (1) を満たすような測定波長 ( $\lambda = 550 \text{ nm}$ ) から僅かに短波長側にずらした波長の測定光を利用して透過率の測定を行う。本例では波長  $\lambda = 549 \text{ nm}$  の測定光によって測定を行い、図 2 5 に示すような信号を得た。こうして得られた測定データを用いて、前述の区間 C と同様に、近似変換を行うことにより、図 2 6 に示すように、測定波長  $\lambda = 549 \text{ nm}$  の長波長側、すなわち  $549 \text{ nm} \leq \lambda \leq 551.35 \text{ nm}$  の分光透過率を求めることができる。

#### 【 0 1 2 3 】

このようにして求めた分光透過率は、実際の分光透過率と極めて高い精度で一致している。成膜工程中に、図 2 6 に示したような分光透過率のプロファイルを得ることにより、バンドパスフィルターの光学仕様となる「中心波長」、「特定波長での透過率」、及び「バンド幅」を全て観測することができる。これにより、目標とする仕様を満たすように確認しながら膜厚（すなわち、光学特性）を補



正することが可能となり、製品の歩留り（良品率）を向上させることができる。

【 0 1 2 4 】

上述の例では、測定波長 $\lambda = 550\text{ nm}$ から僅かに短波長側にずらした測定光として $\lambda = 549\text{ nm}$ の光を用いたが、測定に使用する光の波長は、測定しようとする膜の種類、段数（階層数）に応じて切り替えられる。

【 0 1 2 5 】

上記実施の形態では、透過率を算出する例を述べたが、本発明の実施に際しては、透過率に代えて、またはこれと併せて、反射率を算出してもよい。

【 0 1 2 6 】

図 1 0 に示したスパッタ装置 1 0 0 は、装置内の全てのマグネトロン部に傾斜形ターゲットを装着したが、本発明の実施に際しては、一つの装置内に通常ターゲットと傾斜形ターゲットとが混在する態様も可能である。

【 0 1 2 7 】

【発明の効果】

以上説明したように本発明によれば、カルーセル型スパッタ装置において、成膜中に膜厚をモニタリングし、その情報を利用して成膜量に影響するパラメータを制御するようにしたので、膜厚を正確にコントロールすることができ、所望の膜厚の膜を生産性よく形成することができる。

【 0 1 2 8 】

本発明の他の態様によれば、AC型マグネトロンスパッタ源と、単一のマグネトロン部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源とを併用し、設計膜厚（目標膜厚）手前の一定量までは、AC型マグネトロンスパッタ源を使用した高速成膜を実施し、一定量の成膜を得た後に、AC型マグネトロンスパッタ源による成膜を中止し、単一のマグネトロン部にターゲットが取り付けられたマグネトロンスパッタ源のみを使用するようにしたので、膜厚を高精度で制御でき、生産性よく成膜することができる。

【 0 1 2 9 】

更に、膜厚の測定手法として、測定光の入射角度と透過率または反射率の関係を示すプロファイルを利用することにより、成膜の終点などを確実に決定するこ

とができる。

【 0 1 3 0 】

本発明の更に他の態様によれば、透過率または反射率の入射角度依存性から近似変換を行い、分光透過率または分光反射率のプロファイルをリアルタイムで把握することができ、これを膜厚コントロールにフィードバックすることにより、最終製品のプロファイルを所望のもの（所望の光学仕様のもの）に仕上げる事ができる。これにより、製品の良品率を飛躍的に向上させることができる。

【 0 1 3 1 】

また、本発明の更に他の態様によれば、カルーセル型スパッタ装置において、従来の平板形のターゲットに代えて、又はこれと併用して、傾斜形のターゲットを用いたことにより、基板の進行方向についての膜厚の均一化を実現できる。特開平 3 - 2 5 3 5 6 8 号に開示されているように、二つのカソードと、該カソードに電力を印加するための二つの電源を用いたスパッタリング方法（装置）で膜厚の均一化を図る場合は、成膜速度に影響する要因の差をカソード間で小さくすることが困難であるが、本発明の方法及び装置によれば、膜厚の均一化を図るカソードー電源システムは一つの電源のみを有する構成が可能となるために、前述した要因への影響は小さく、より簡単に膜厚の均一化を図れるとともに、従来と比較して装置の構成もコンパクトで安価にできるという利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施形態に係る光学多層膜成膜用のスパッタ装置の構成を示す平面模式図

【図 2】

図 1 に示した装置で使用される基板ホルダーの斜視図

【図 3】

本実施例における膜厚モニタの信号例を示すグラフ

【図 4】

本実施例により作成したバンドパスフィルターの分光特性を示すグラフ

【図 5】

本発明の他の実施形態に係る光学多層膜成膜用のスパッタ装置の模式図

【図 6】

図 5 に示したスパッタ装置に防着板を付加した例を示す模式図

【図 7】

種々のカソード配置の例を示す図

【図 8】

本発明で主に使用されるターゲット材と膜材料を例示した図表

【図 9】

本発明で使用する基板の例を示した図表

【図 1 0】

本発明の他の実施形態に係る光学多層膜成膜用のスパッタ装置の構成図

【図 1 1】

ハロゲンランプを利用する膜厚モニタリングシステムの詳細な構成を示すブロック図

【図 1 2】

可変波長レーザーを利用する膜厚モニタリングシステムの詳細な構成を示すブロック図

【図 1 3】

従来のカルーセル型スパッタ装置における膜厚分布の不均一性を説明した模式図

【図 1 4】

(a) は本発明の実施形態に係るターゲットの断面図、(b) はその平面図

【図 1 5】

傾斜形のターゲットの作用を説明した模式図

【図 1 6】

図 1 4 に示した傾斜形のターゲットを用いた成膜による膜厚分布と、従来の平板形のターゲット（通常ターゲット）を用いた成膜による膜厚分布とを比較したグラフ

【図 1 7】

高速成膜用のスパッタ源に適用される傾斜形のターゲットの構成図

【図 18】

図 17 に示した傾斜形のターゲットを用いた成膜による膜厚分布と、従来の平板形のターゲット（通常ターゲット）を用いた成膜による膜厚分布とを比較したグラフ

【図 19】

高速成膜用のスパッタ源に適用される傾斜形のターゲットの他の構成例を示す図

【図 20】

ガラス基板上に  $\text{TiO}_2$  を成膜した時の波長 550 nm の光透過率の変化を示すグラフ

【図 21】

ガラス / ( $\text{TiO}_2$  92.9nm /  $\text{SiO}_2$  57.3nm)<sup>7</sup> /  $\text{TiO}_2$  185.8nm / ( $\text{SiO}_2$  57.3nm /  $\text{TiO}_2$  92.9nm)<sup>7</sup> の膜構成からなる 29 層 1 キャビティのバンドパスフィルター（中心波長 550 nm）を成膜したときの波長 550 nm の測定光による透過率の変化を示すグラフ

【図 22】

図 21 中の区間 A における成膜中に得た透過率のデータの角度依存性を示すグラフ

【図 23】

図 21 中の第 28 層目以降の成膜中に測定される透過率の角度依存性を示すグラフ

【図 24】

測定波長 550 nm を用いて入射角度  $0^\circ \pm 10^\circ$  の範囲で取得される透過率曲線のデータを近似変換して得られる分光透過率のグラフ

【図 25】

測定波長 549 nm を用いて入射角度  $0^\circ \pm 10^\circ$  の範囲で取得される透過率曲線のデータを示すグラフ

【図 26】

図 25 に示したデータを近似変換して得られる分光透過率のグラフ

【図 27】

従来の光学多層膜成膜用のスパッタ装置の構成を示す概略図

【符号の説明】

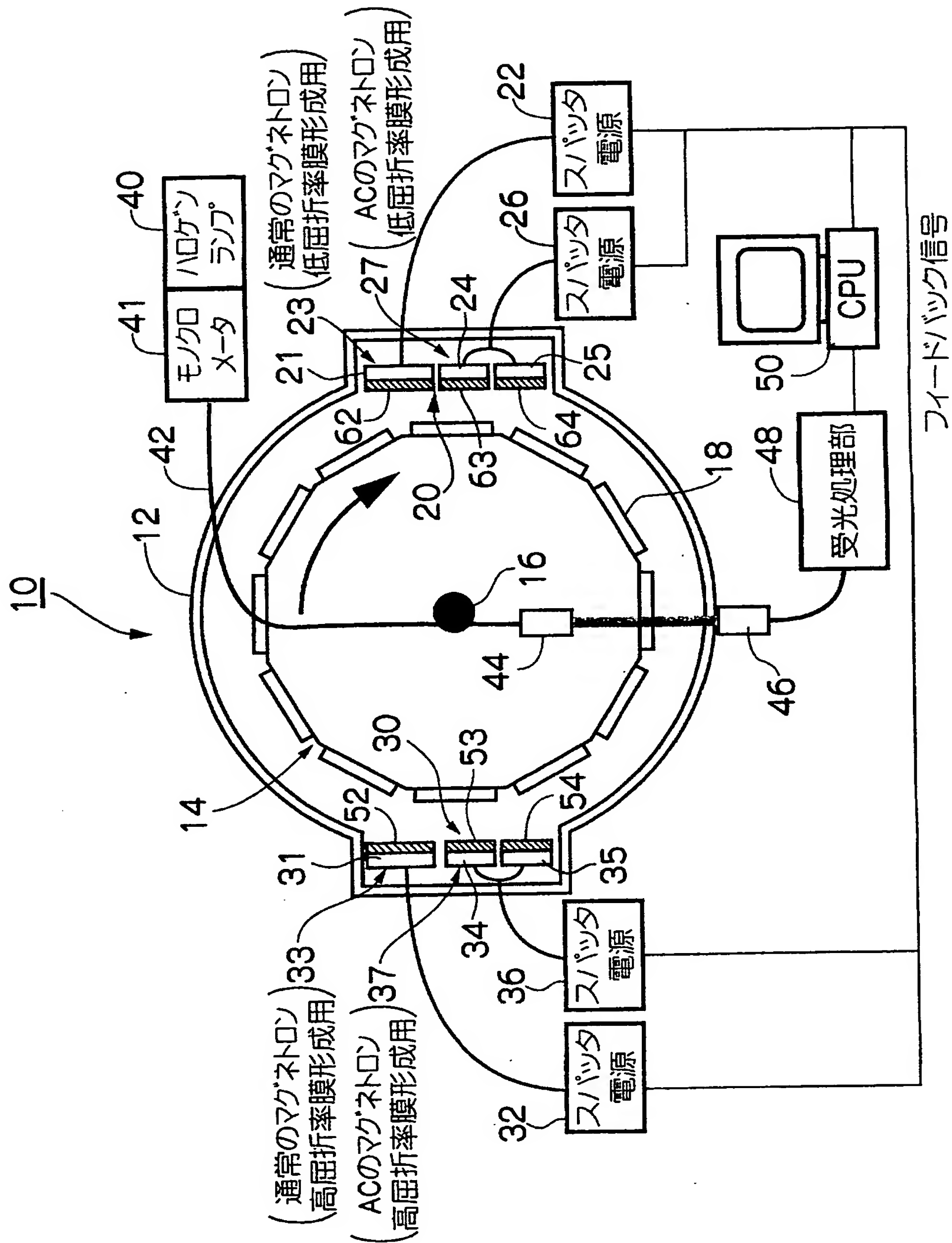
10…スパッタ装置、12…チャンバー、14…基板ホルダー、16…中心軸（回転軸）、17…ドラム、18…基板、20…マグネトロンスパッタ源（低屈折率膜形成用のマグネトロンスパッタ源）、21…マグネトロン部、22…電源、23…通常のマグネトロン、23A…中心線、24, 25…マグネトロン部、26…交流電源、27…ACのマグネトロン、27A…中心線、30…マグネトロンスパッタ源（高屈折率膜形成用のマグネトロンスパッタ源）、31…マグネトロン部、32…電源、33…通常のマグネトロン、33A…中心線、34, 35…マグネトロン部、36…交流電源、37…ACのマグネトロン、37A…中心線、40…ハロゲンランプ、41…モノクロメータ、42…光ファイバー、44…投光ヘッド（膜厚測定手段）、46…受光ヘッド（膜厚測定手段）、48…受光処理部、49…コントロールアンプ、50…パソコン（制御手段、演算手段）、51…CPU（制御手段、演算手段）、52, 53, 54…Tiターゲット、62, 63, 64…Siターゲット、70…スパッタ装置、72, 74, 76, 78…シャッター、80…防着板、82…反射型モニタのヘッド、84…チョップ、85…フォトマルメータ、86…ランプ電源、87…光分割手段、88…フォトダイオード、90…可変波長レーザー、92…ターゲット、92A, 92B…ターゲット傾斜面、92C…稜線、94, 95, 96, 97…ターゲット、96A, 96B, 97A, 97B…傾斜面、100…スパッタ装置、200…チャンバー、202…基板ホルダー、204…基板、206…低屈折率膜形成用のマグネトロンスパッタ源、208…高屈折率膜形成用のマグネトロンスパッタ源、210, 212…ターゲット、214…中心軸、216, 218…スパッタ電源



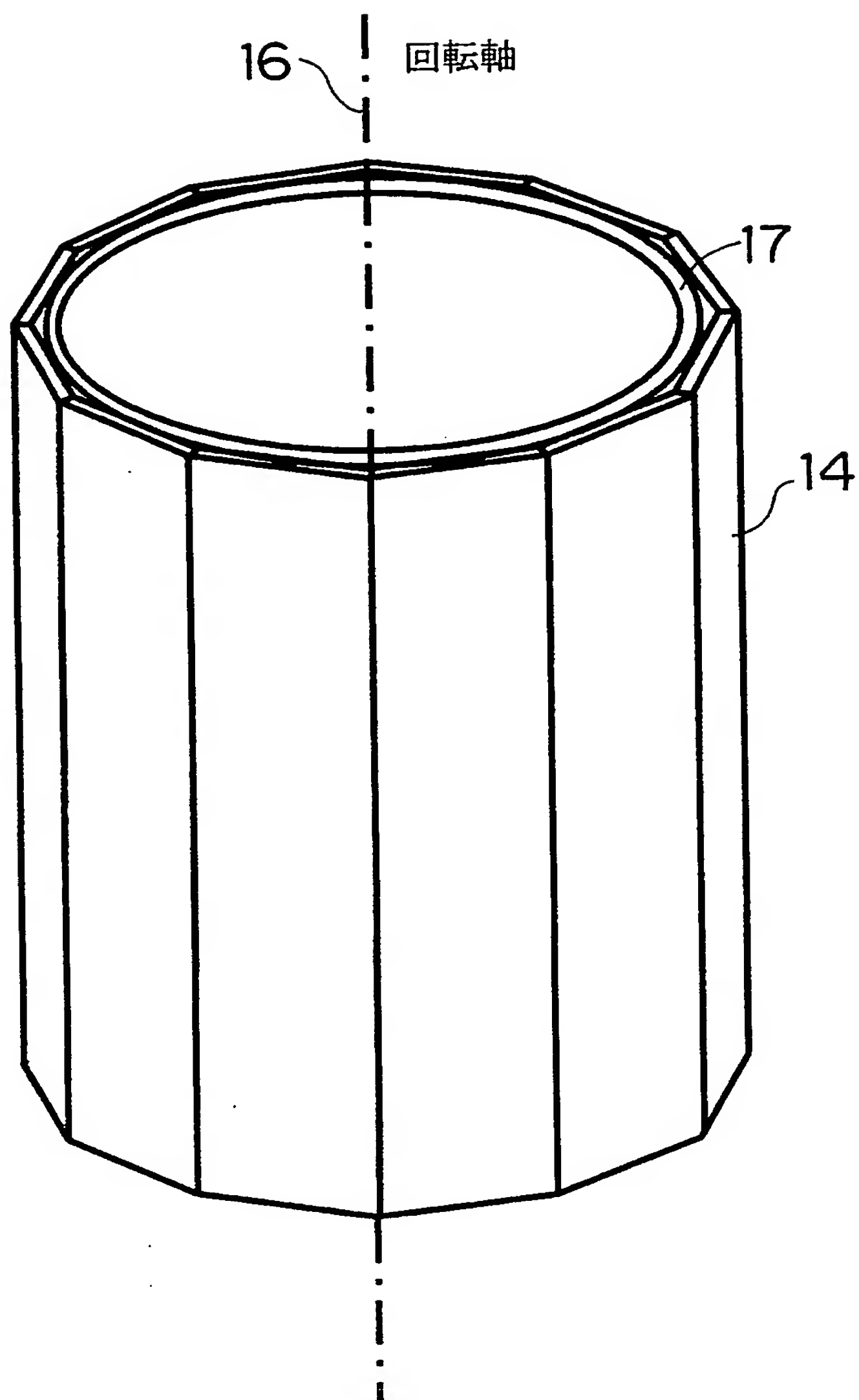
【書類名】

図面

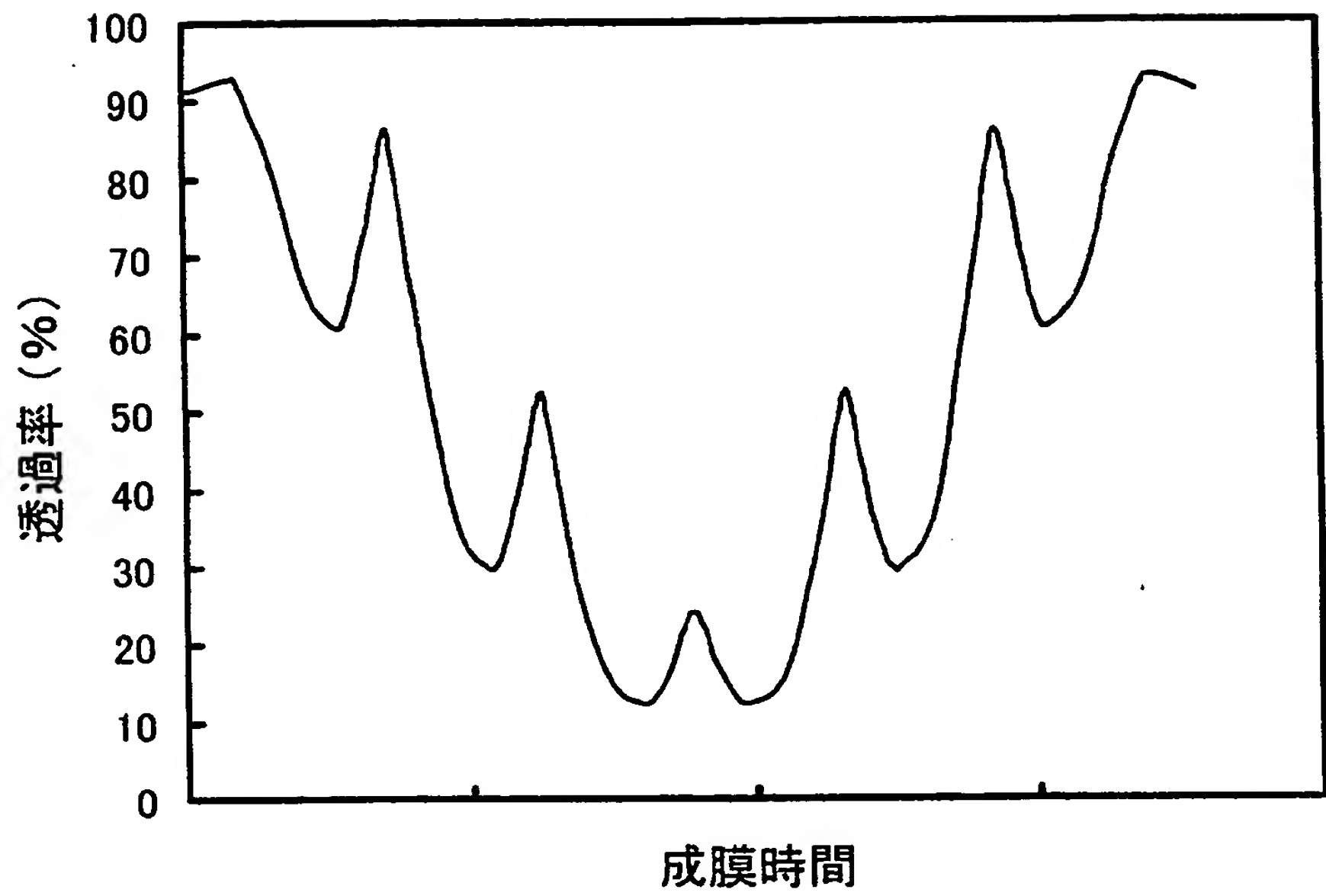
【図 1】



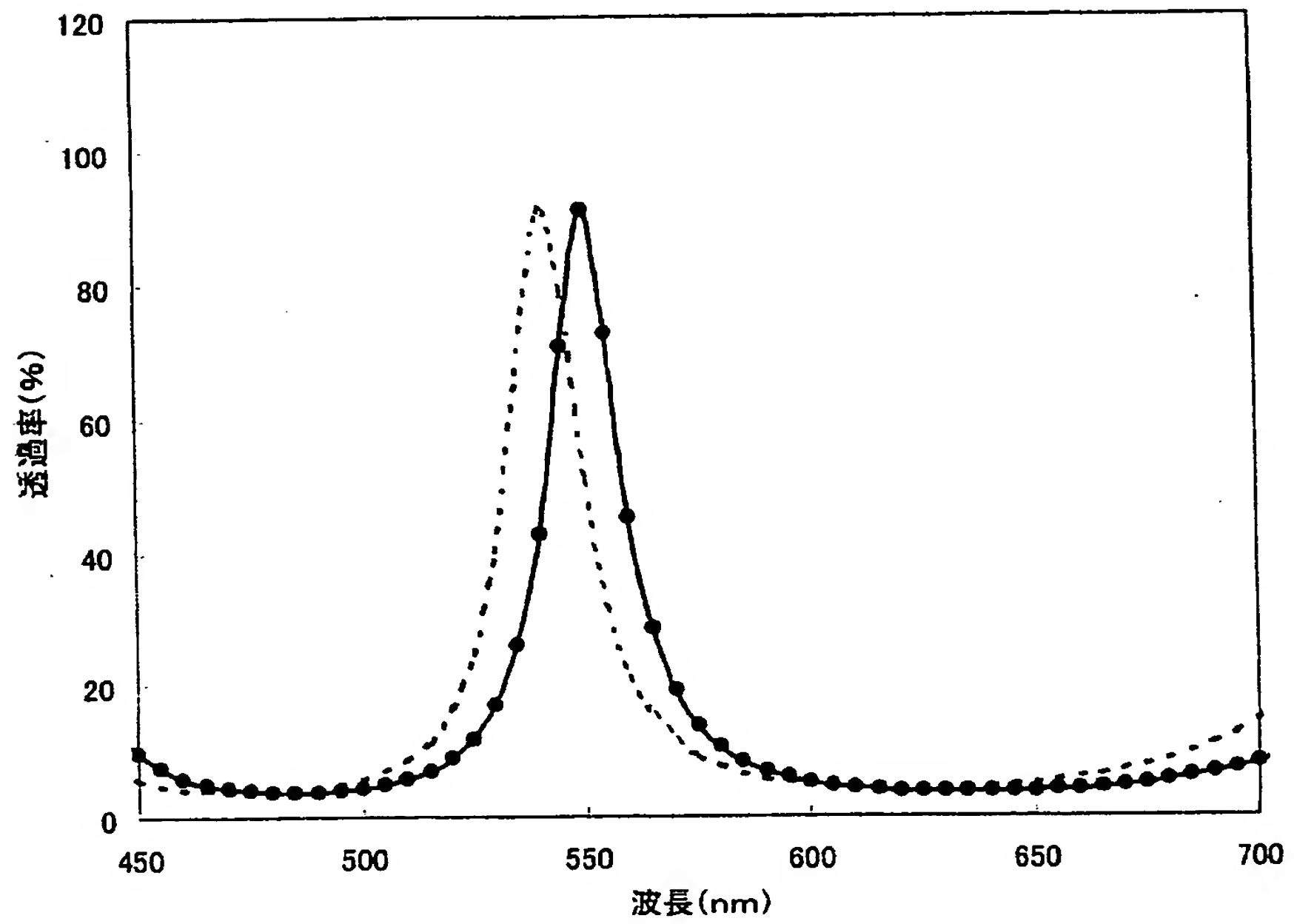
【図 2】



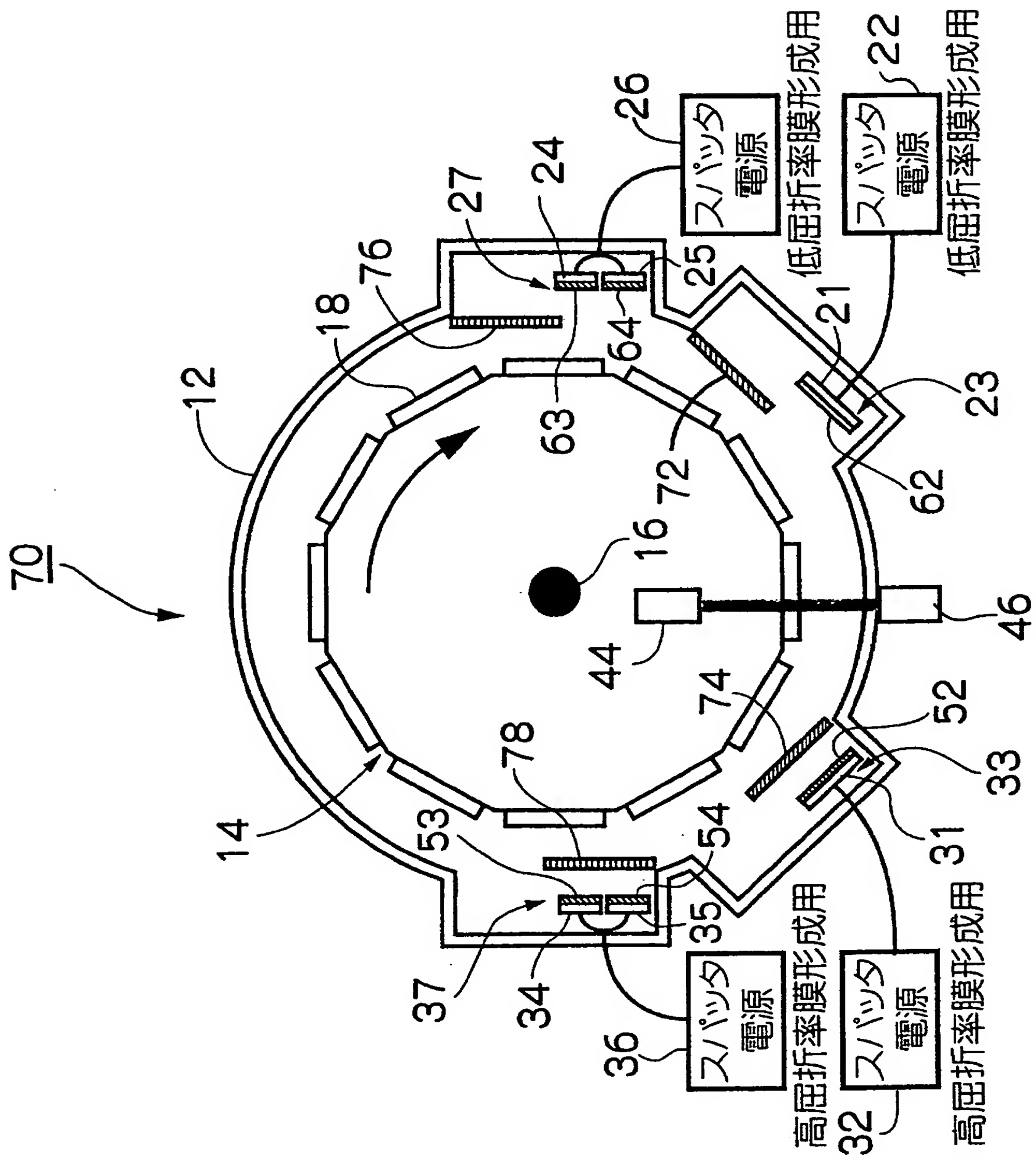
【図3】



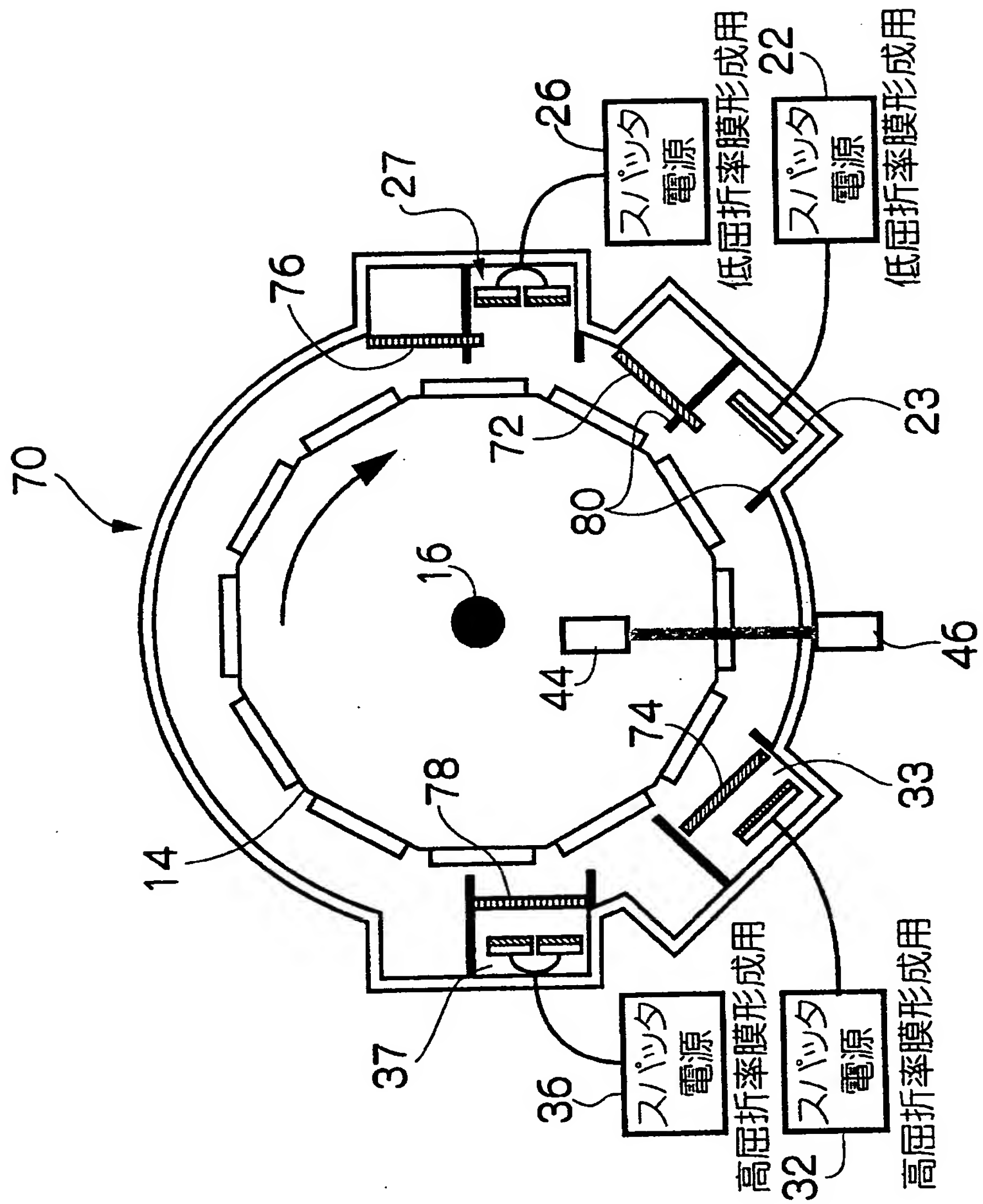
【図4】



【図5】

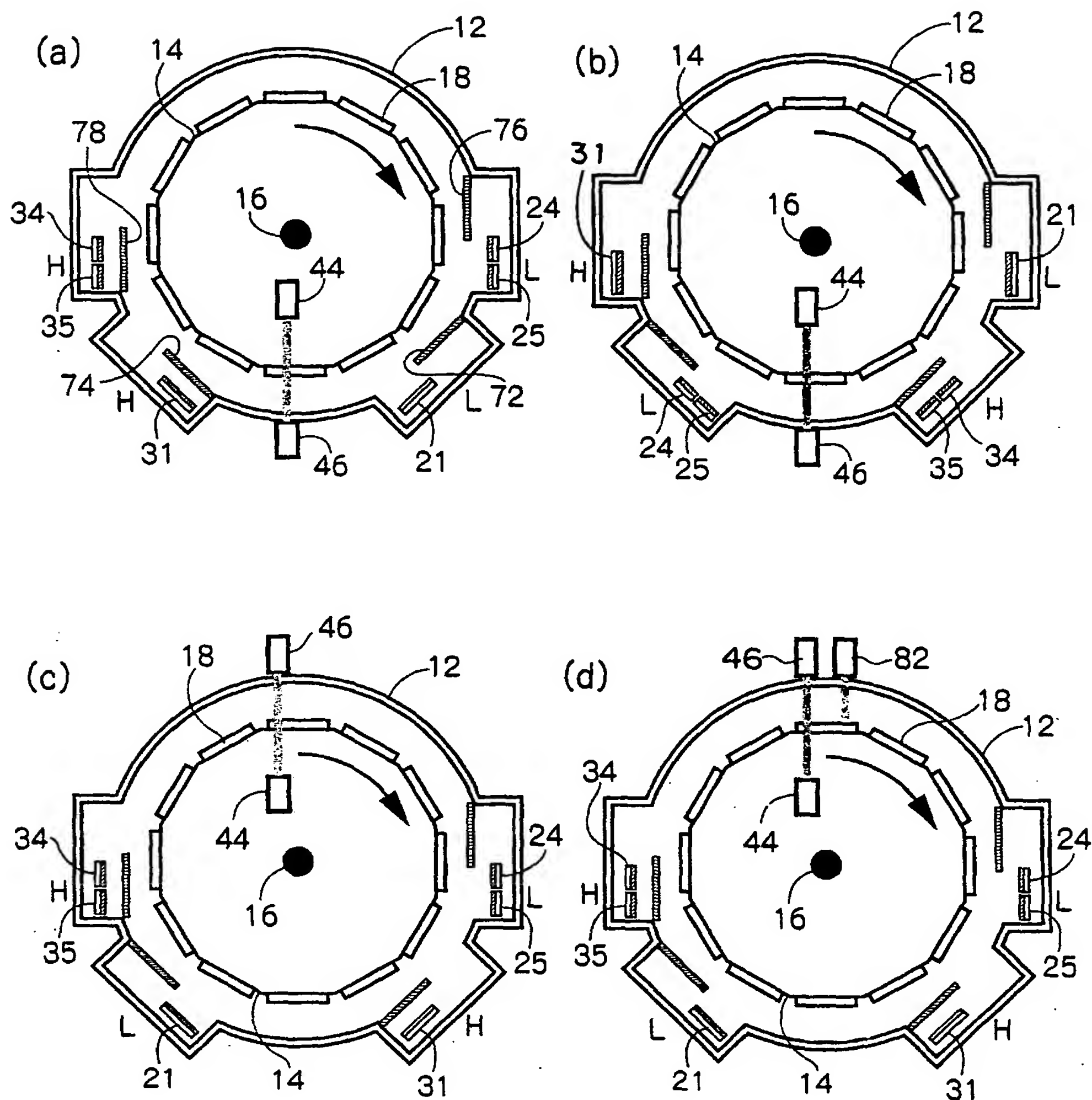


【図 6】





【図 7】



【図 8】

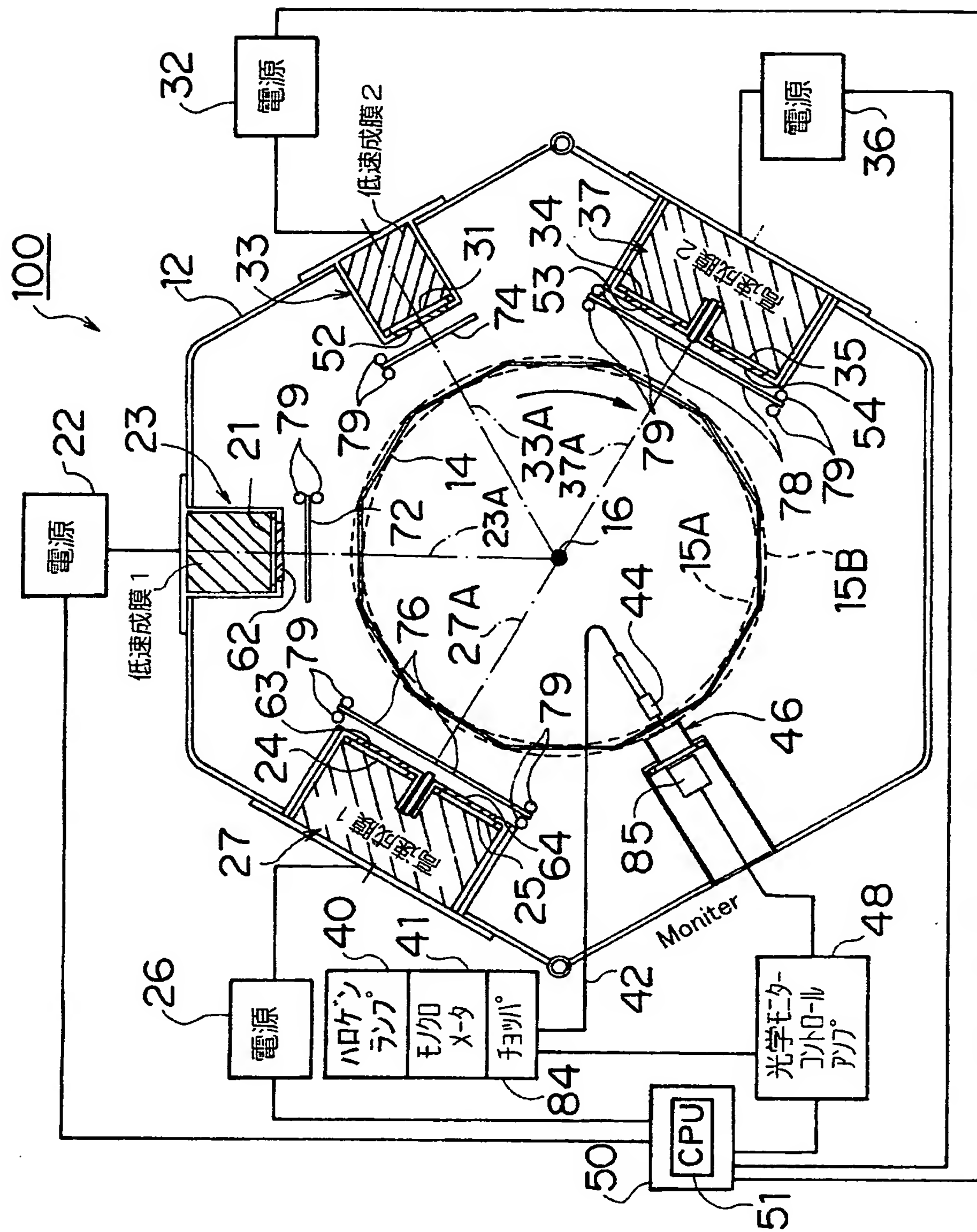
	ターゲット材	膜材料
低屈折率材料	Si	SiO <sub>2</sub>
	SiC	SiO <sub>2</sub>
	SiとAlの合金	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
高屈折率材料	Ti	TiO <sub>2</sub>
	Ta	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	Zr	ZrO <sub>2</sub>
	Zn	ZnO
	Nb	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>

【図 9】

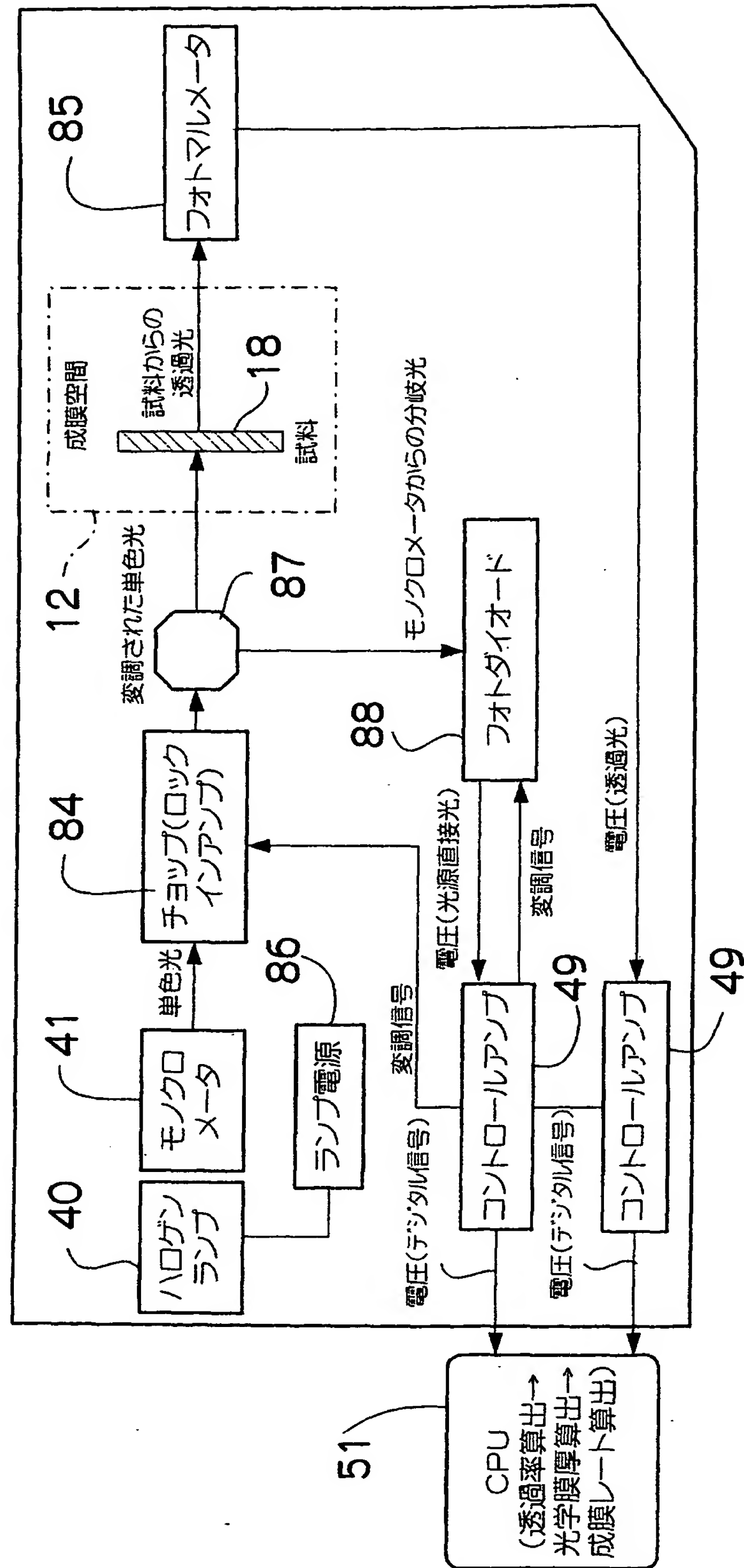
本発明で使用する基板例

WDM用	OHARA社製 WMS(結晶化ガラス)
光学フィルター用	白板ガラス (高透過ガラス)
	硬質ガラス (低膨張ガラス)
	人工水晶
	石英
	ショット社製 BK-7(光学ガラス)
	弗燐酸系ガラス
	硼珪酸系ガラス

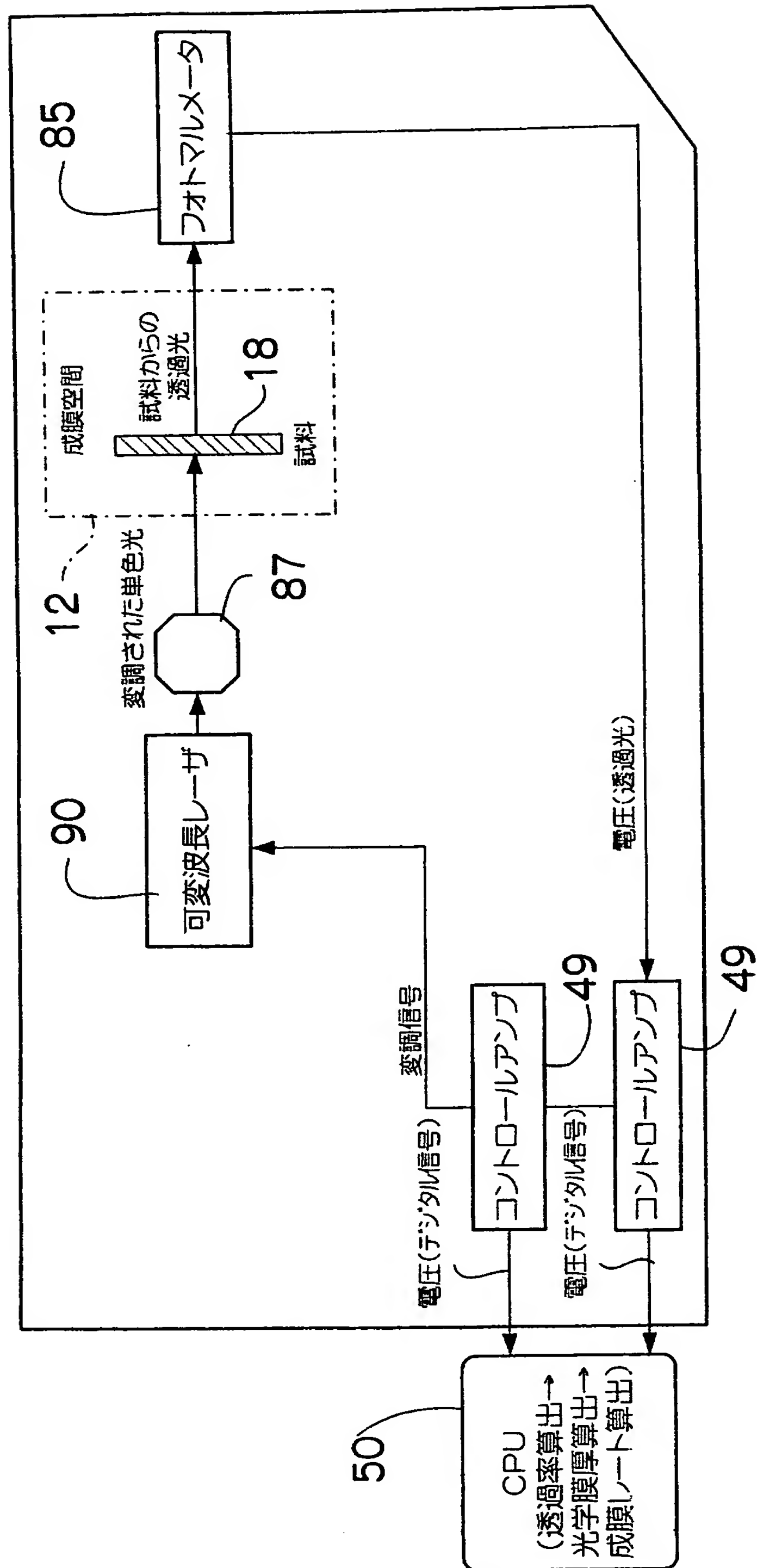
【図 10】



【図 11】

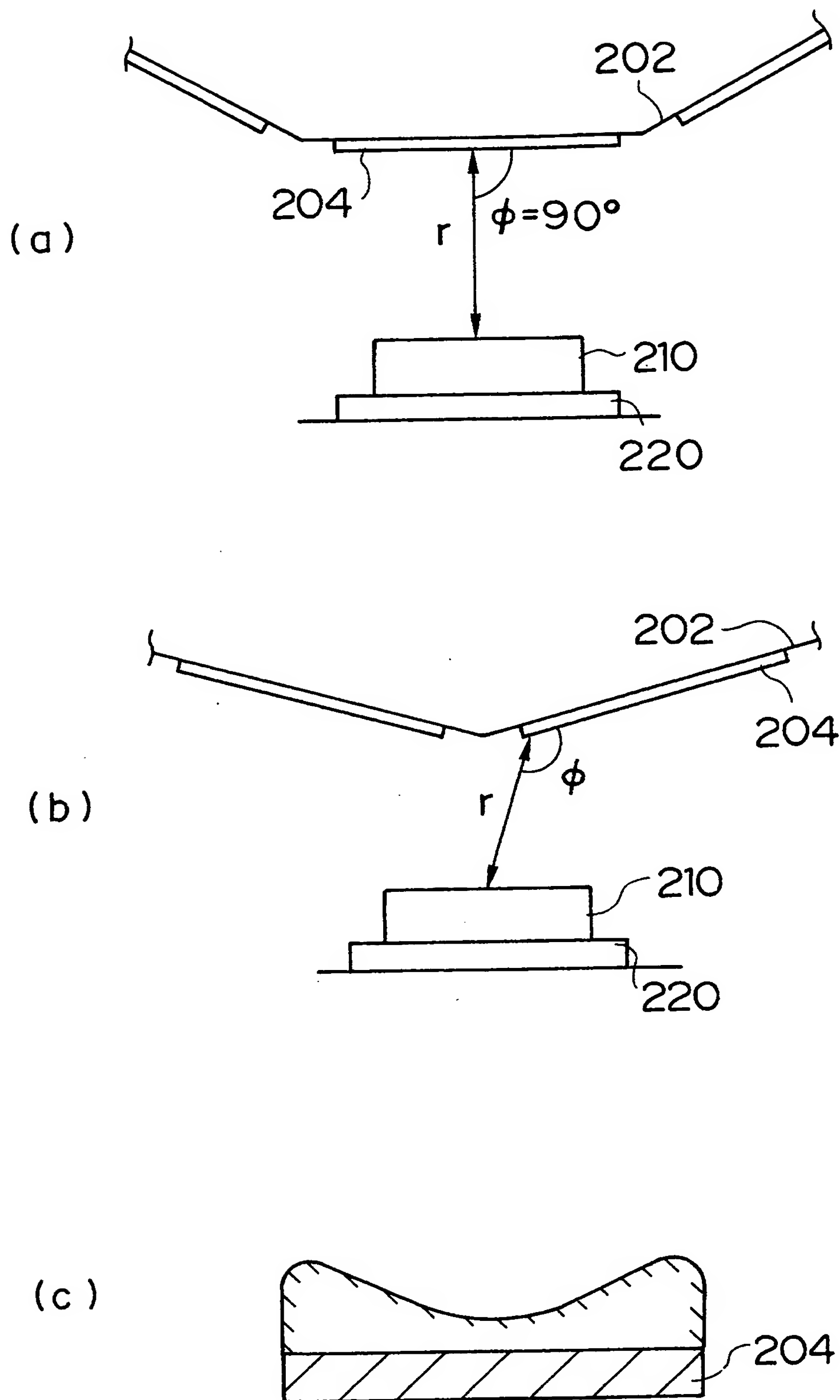


【図 12】

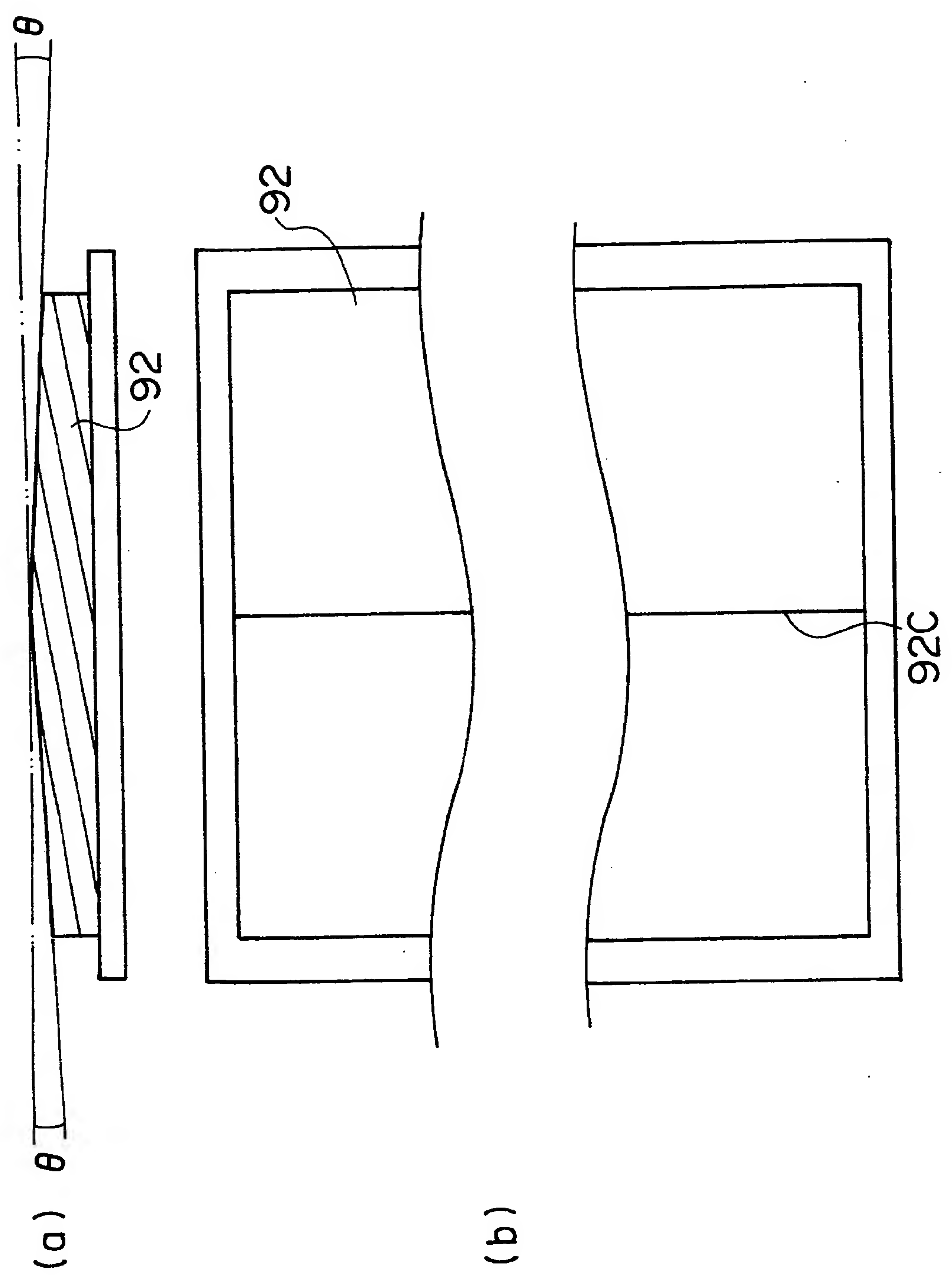




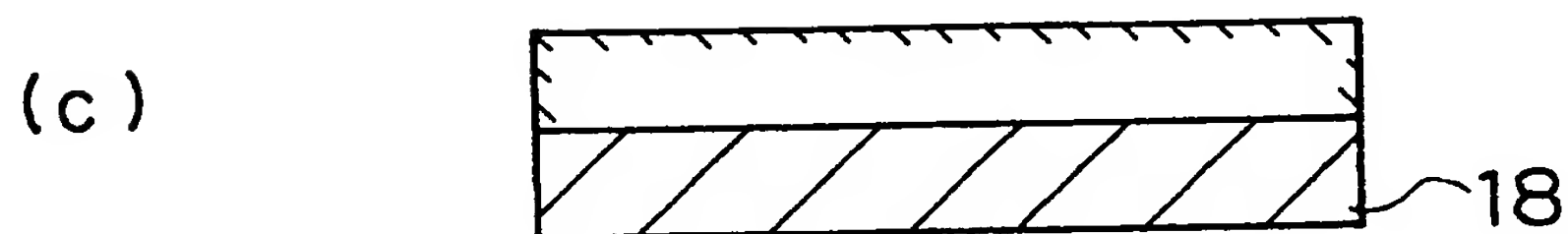
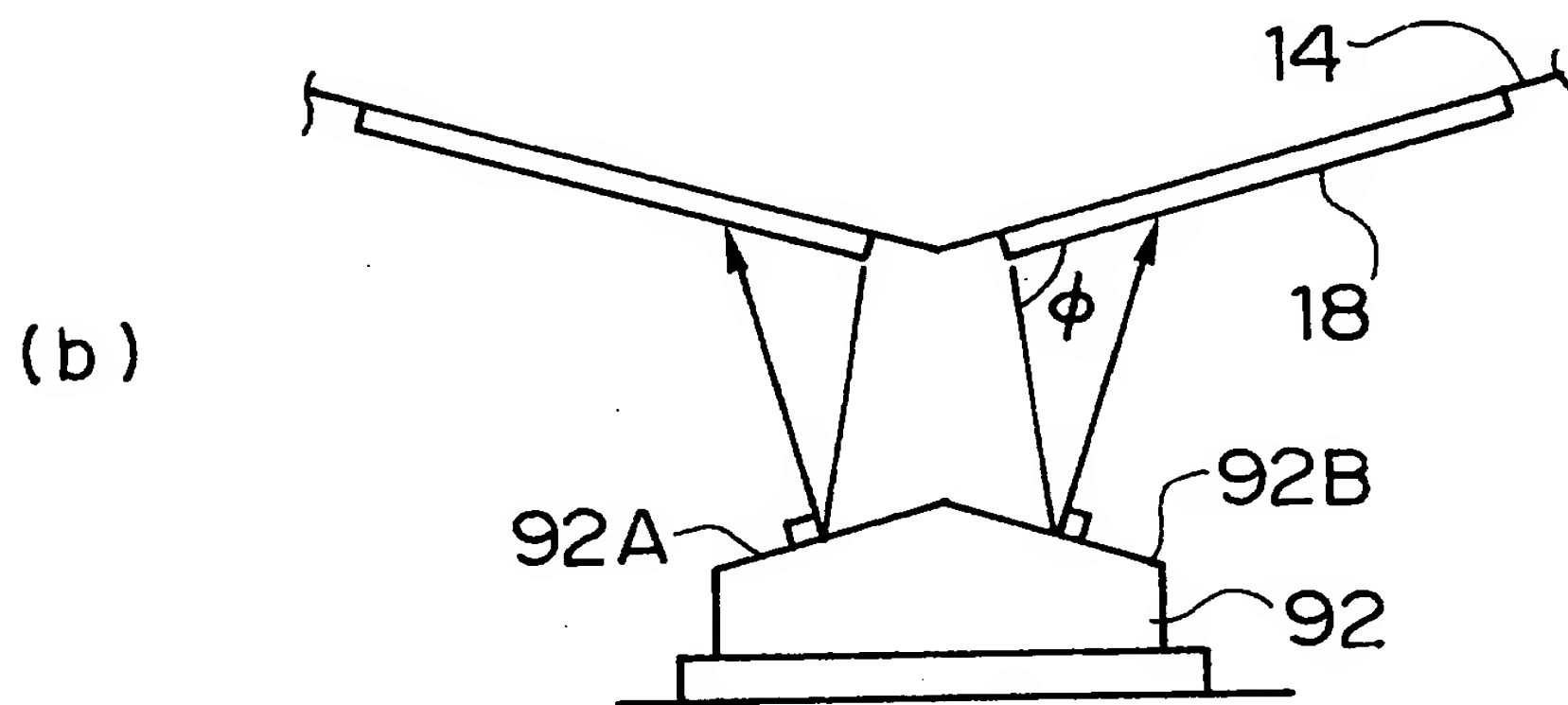
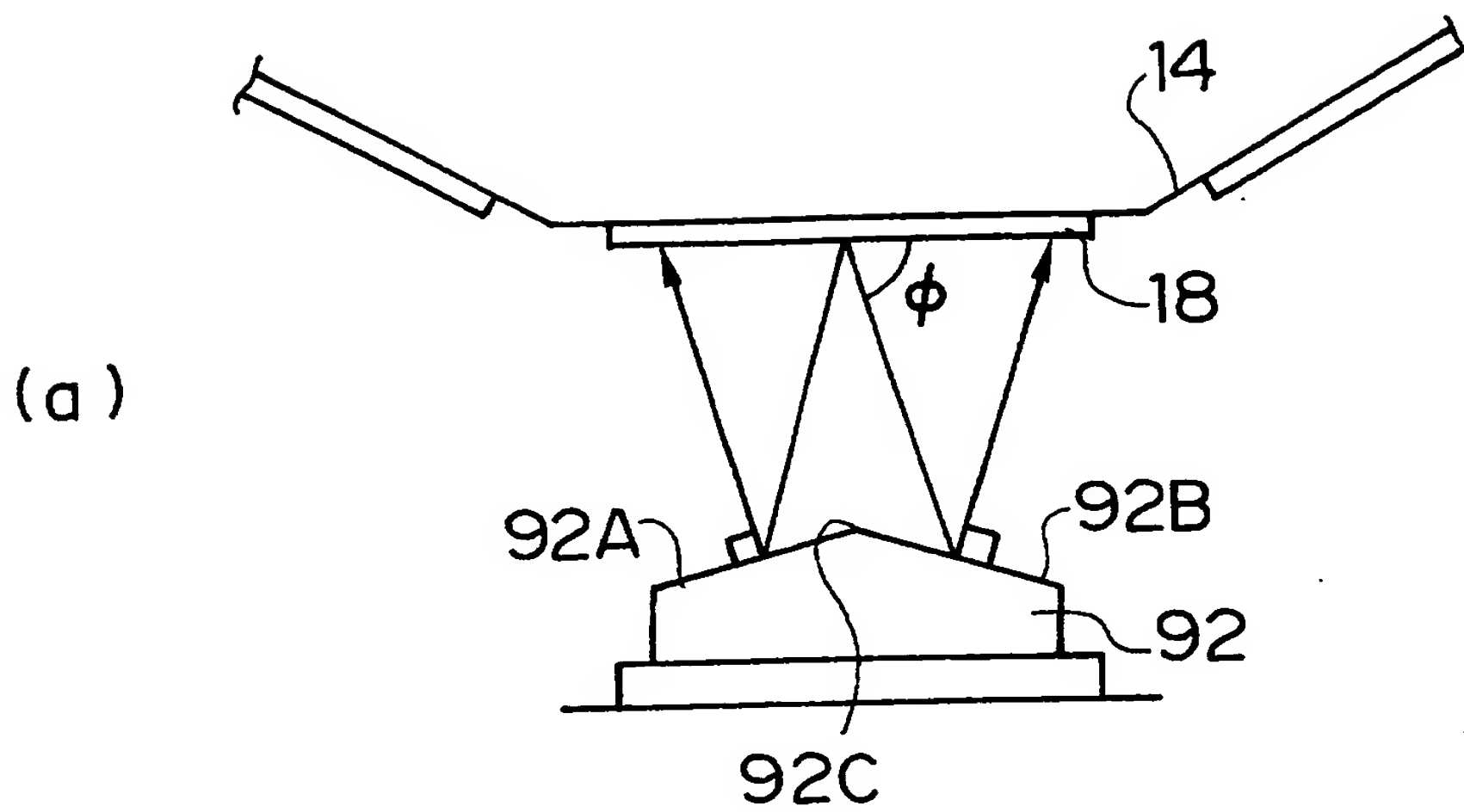
【図 13】



【図 1 4】

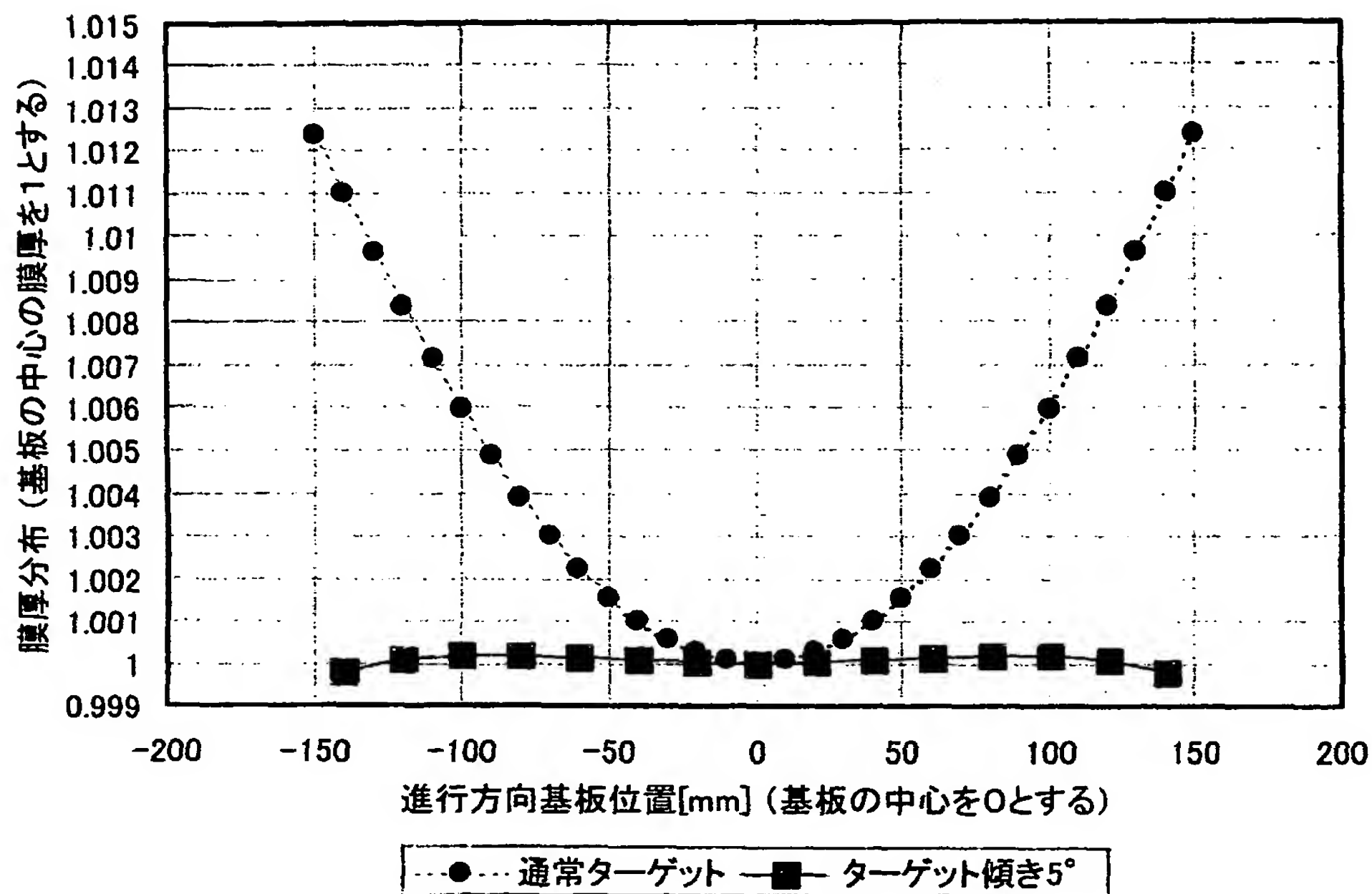


【図 15】

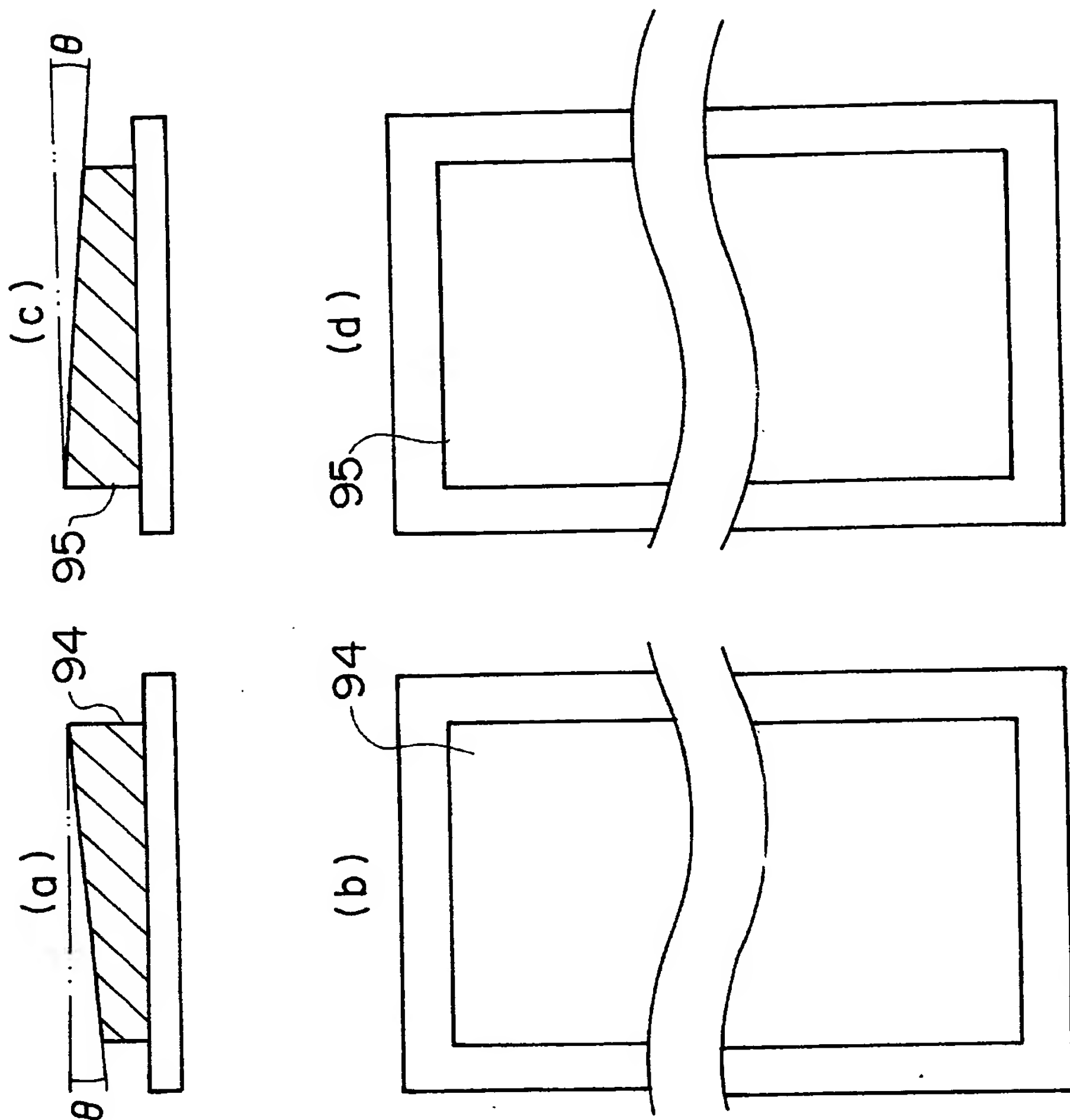


【図 16】

低速成膜ターゲット カルーセル型成膜 進行方向分布

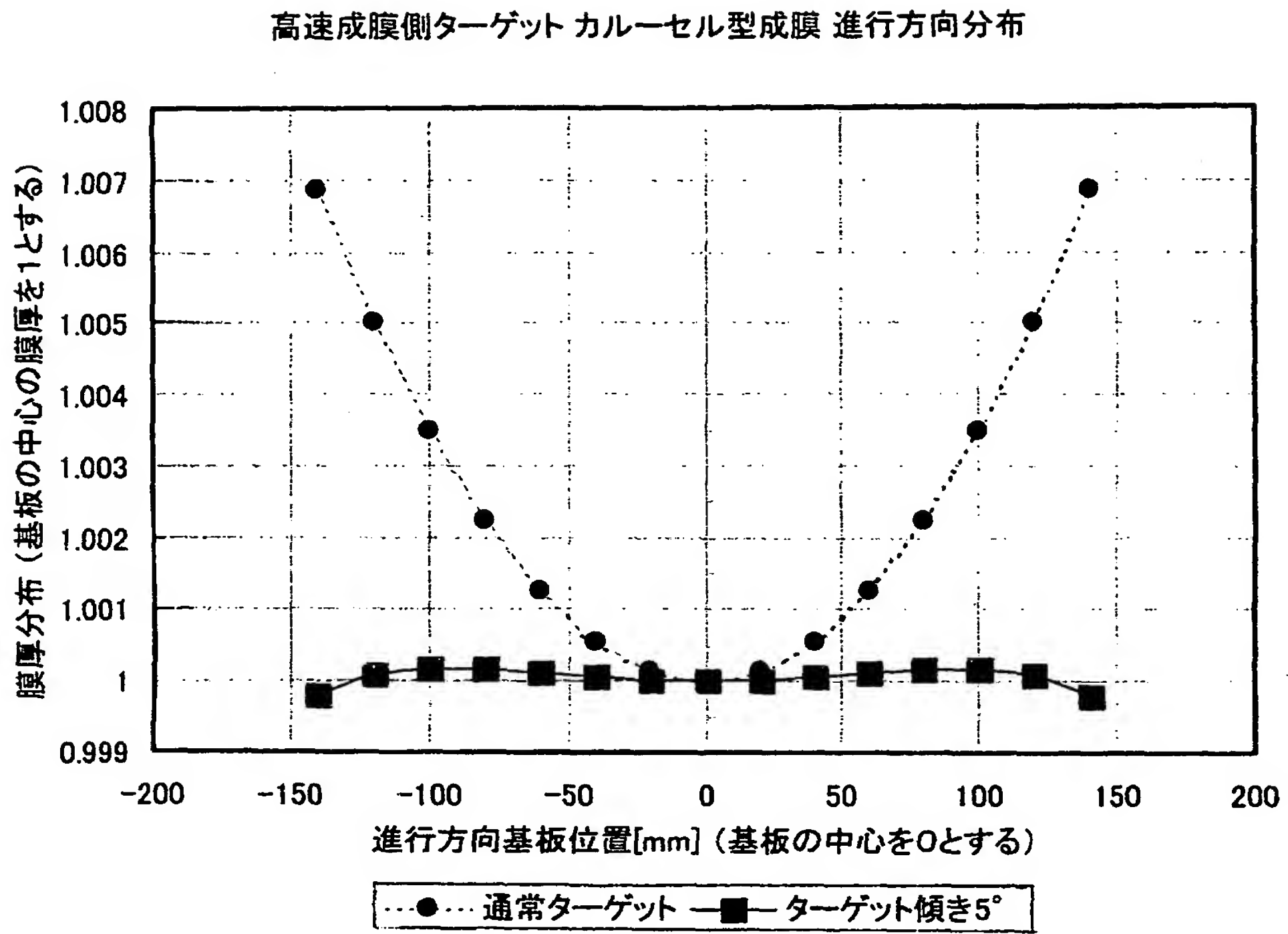


【図 1 7】

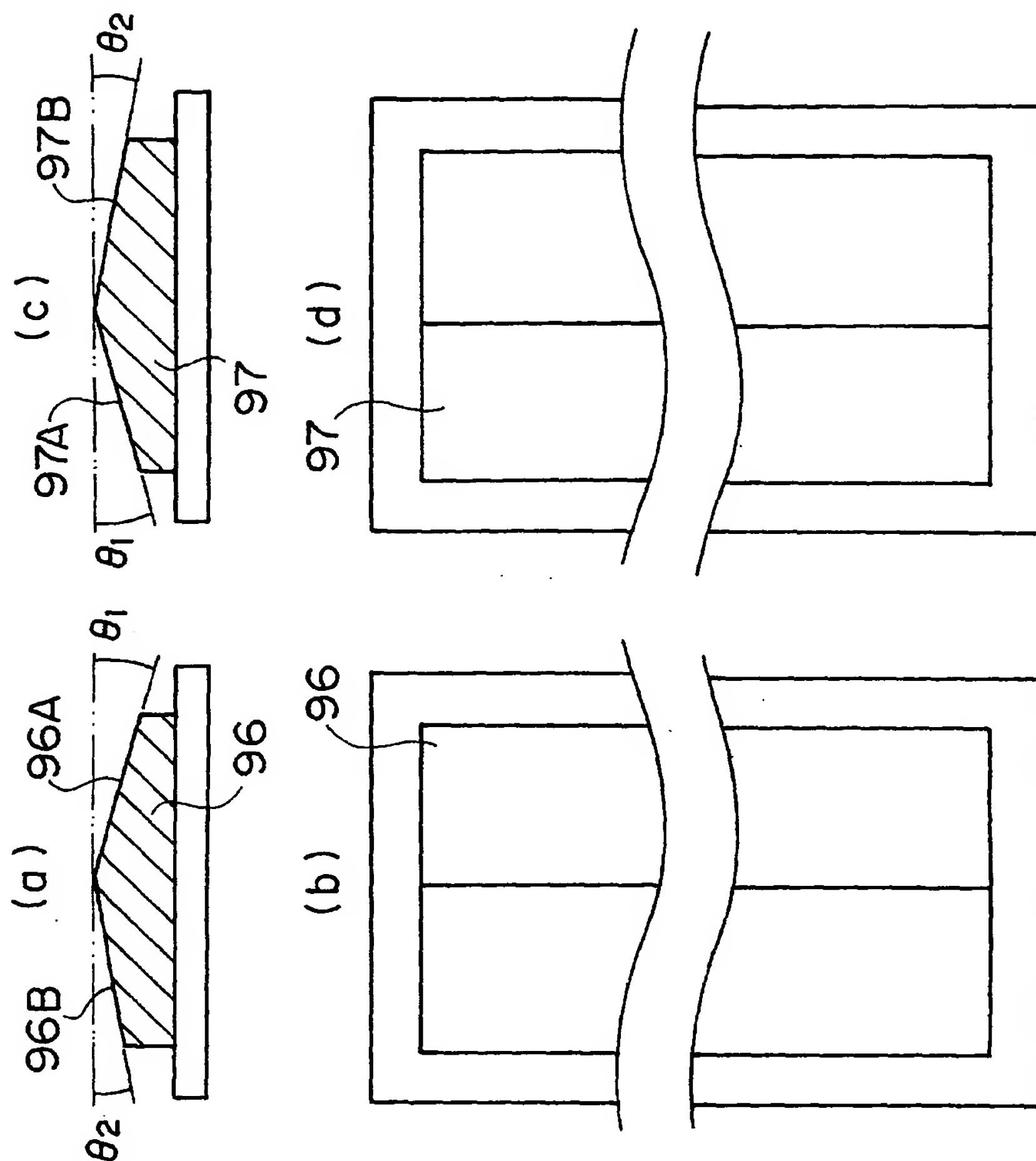




【図 18】

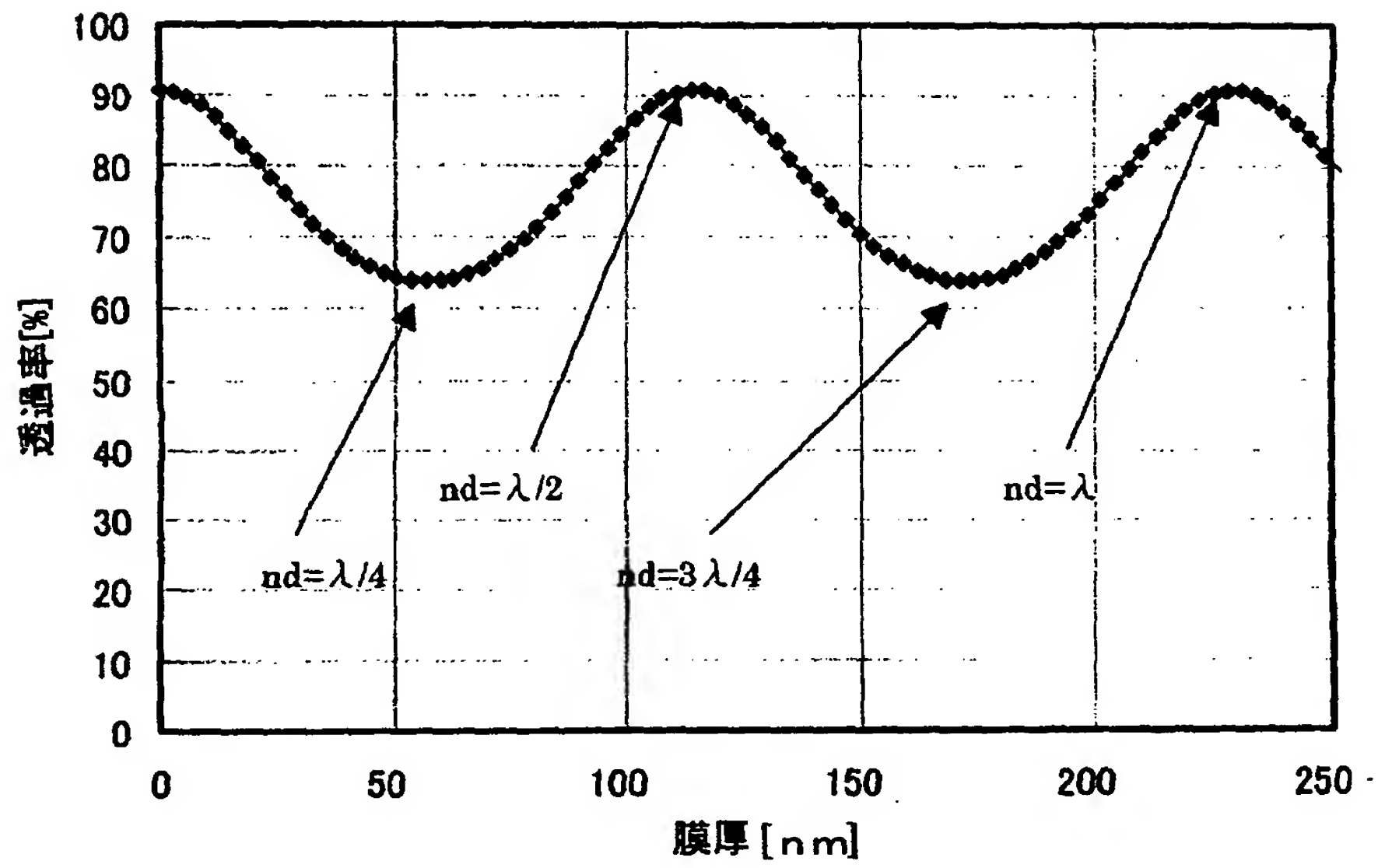


【図 19】

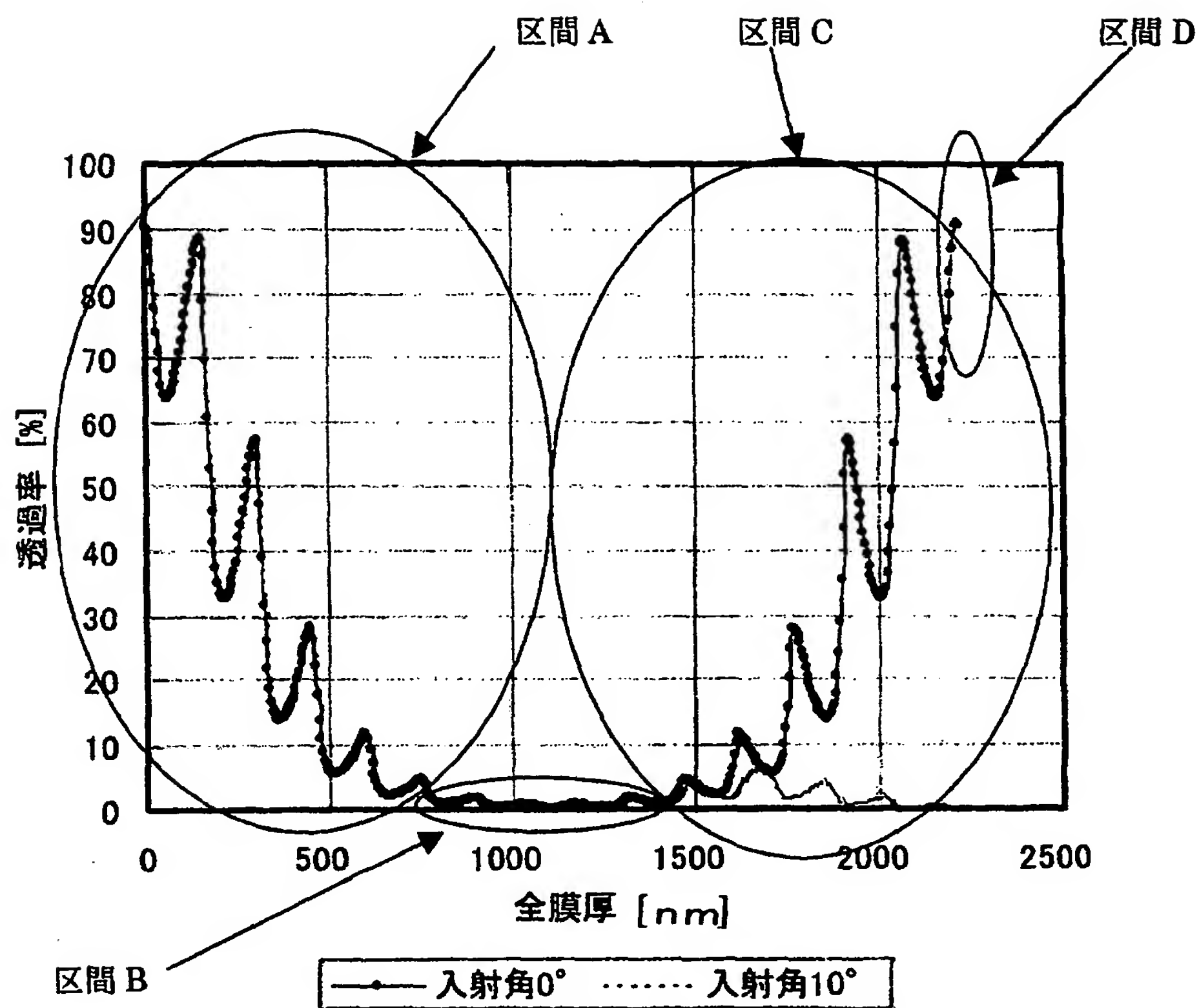


【図 20】

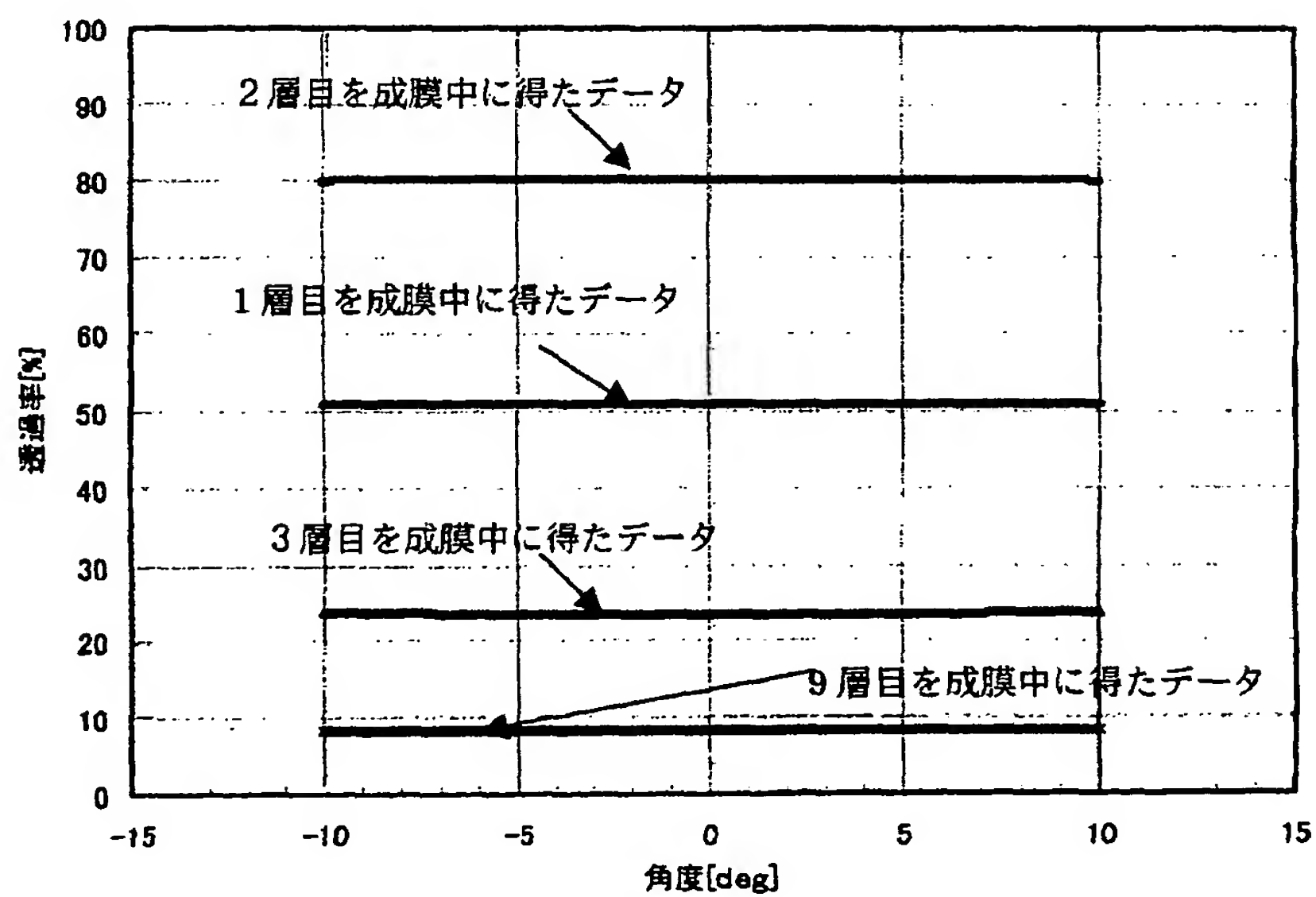
ガラス基板上にTiO<sub>2</sub>(n=2.4)成膜時の波長550nm光透過率変化



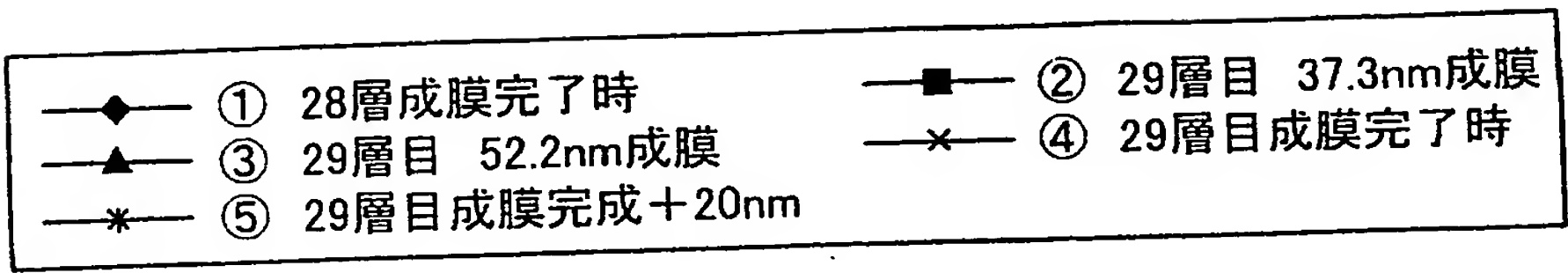
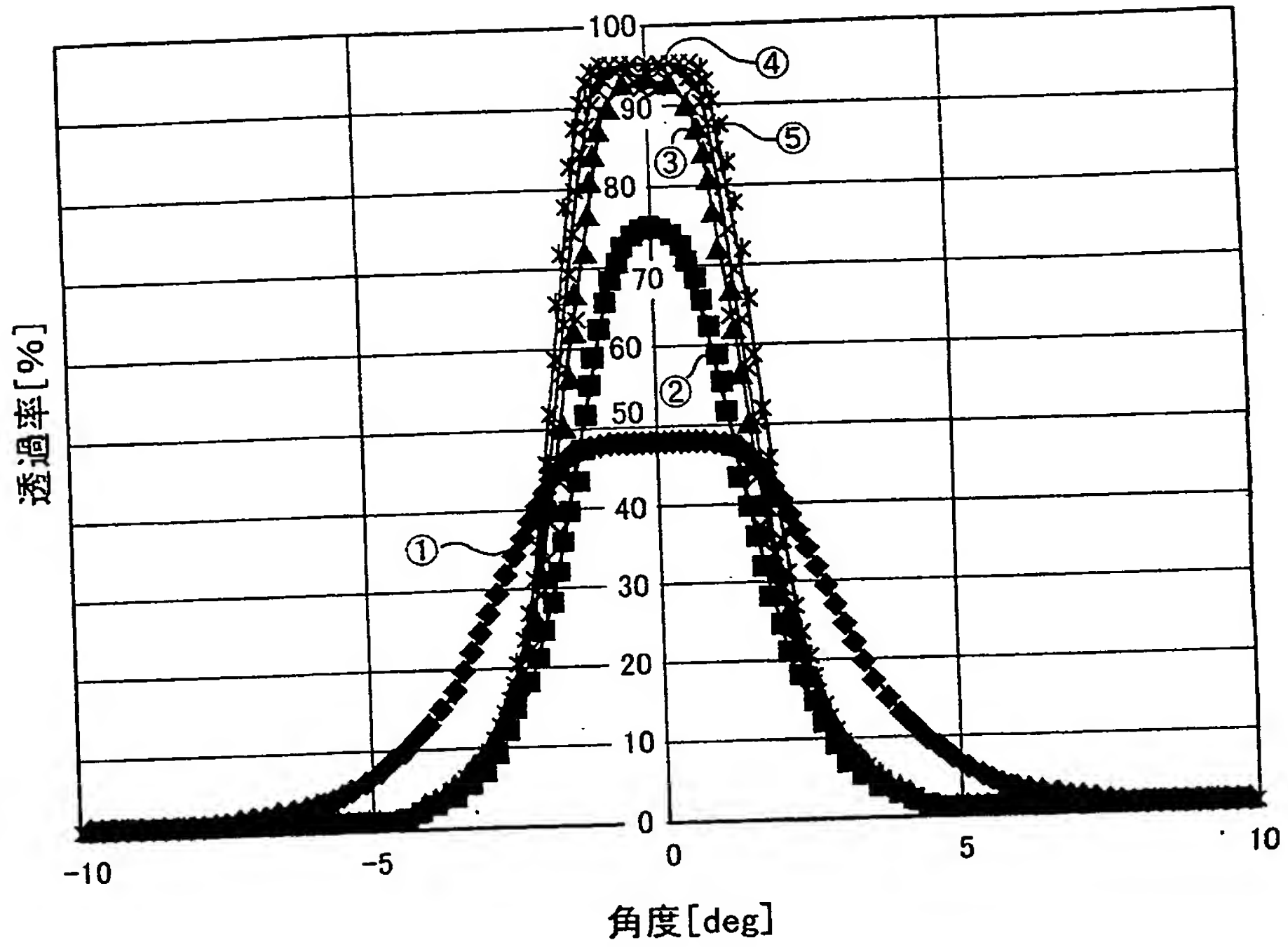
【図 2 1】



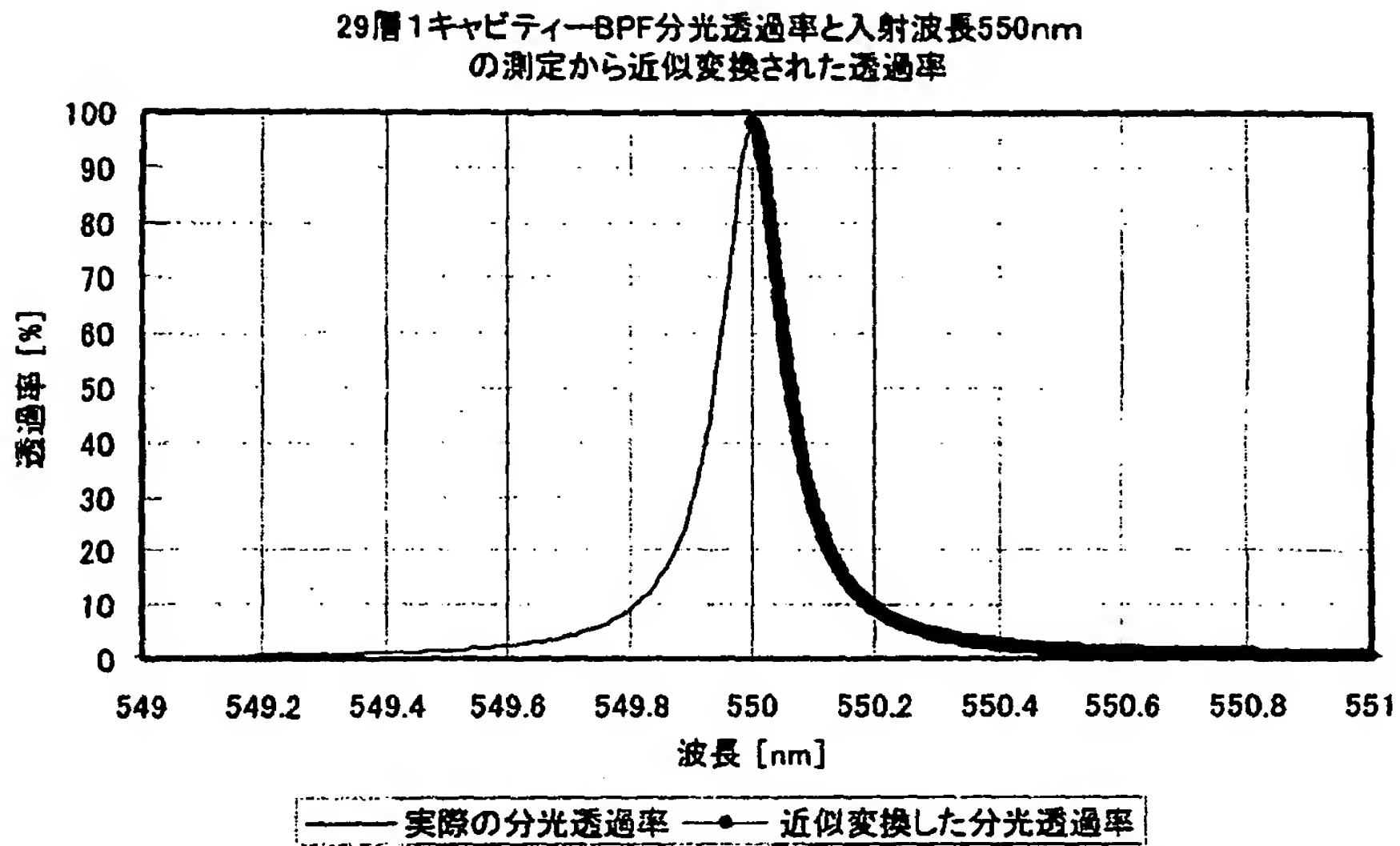
【図 2 2】



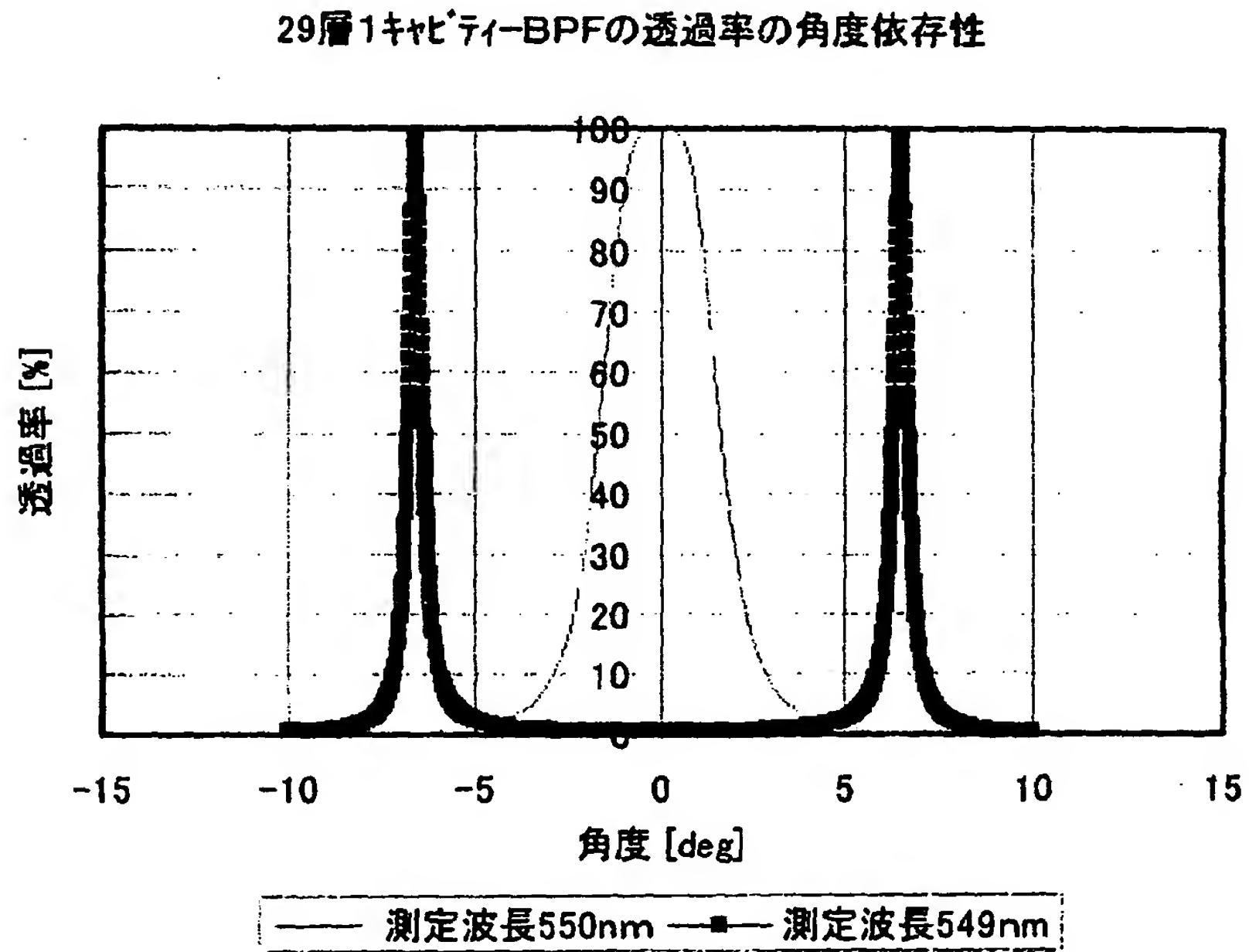
【图 23】



【図 2 4】

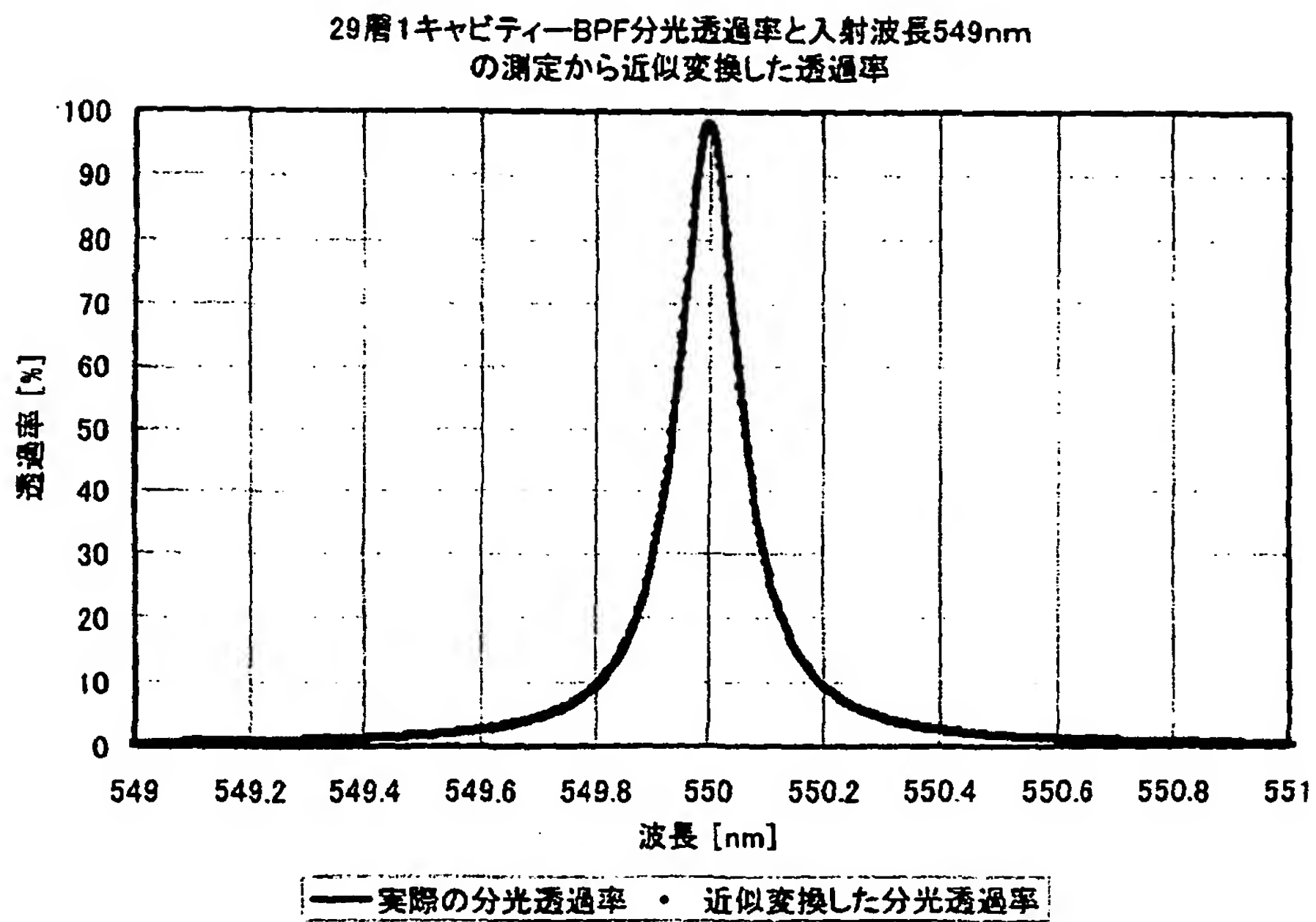


【図 2 5】

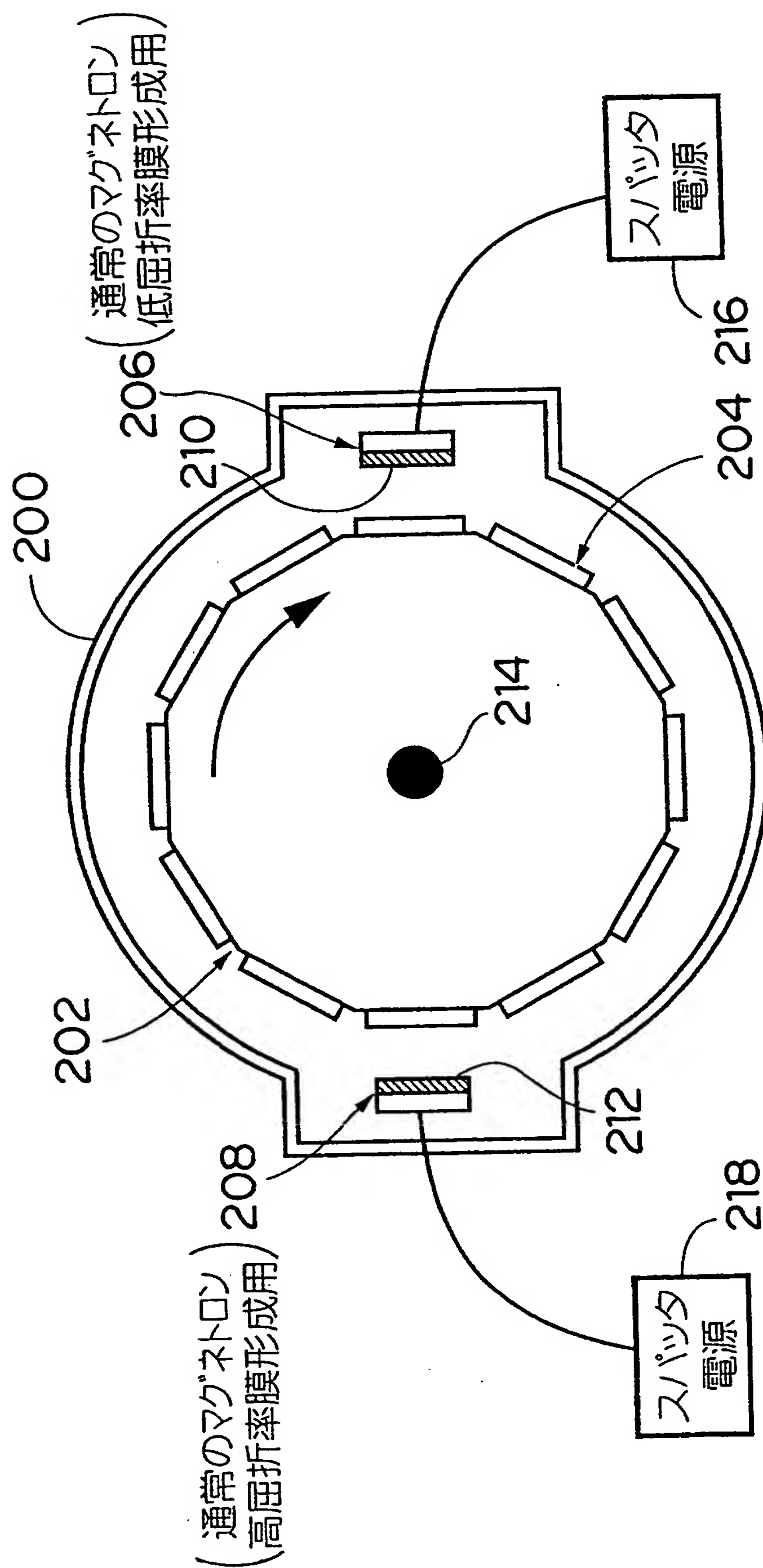




【図 2 6】



【図 2 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 WDM（多重波長分割）用フィルターの製造に好適で、膜厚を高精度で制御でき、かつ生産性に優れるスパッタ装置及びスパッタ成膜方法を提供する。

【解決手段】 チャンバー 1 2 内に基板ホルダー 1 4 が設置されたカルーセル型スパッタ装置において、低屈折率膜形成用と高屈折率膜形成用にそれぞれ通常のマグネトロン 2 3、3 3 と AC のマグネトロン 2 7、3 7 が併設される。設計膜厚の 9 0 % まで AC のマグネトロンのみで成膜し、その後、通常のマグネトロンのみで成膜する。成膜中に基板 1 8 の透過率を測定し、その情報を電源にフィードバックすることで、膜厚コントロールを行う。

【選択図】 図 1

出願人履歴情報

識別番号 [000000044]

1. 変更年月日 1999年12月14日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都千代田区有楽町一丁目12番1号

氏 名 旭硝子株式会社